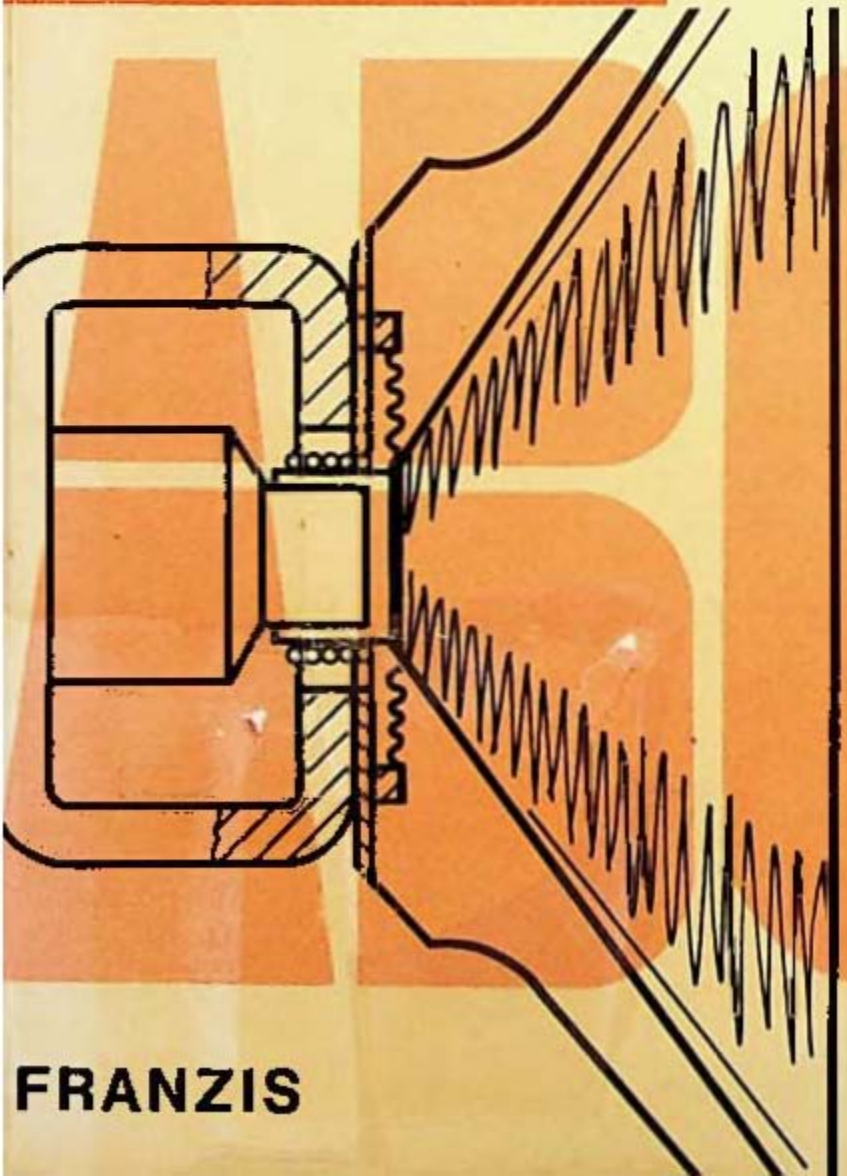
Gustav Büscher / A. Wiegelmann

# Kleines ABC der Elektroakustik

RPB
Radio-Praktiker-Bücherei
29/30a



FRANZIS

# RPB Radio-Praktiker-Bücherei
## Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfach-Band DM 2.90; Doppel-Band DM 5.60; Dreifach-Band DM 7.90.

**3/5** UKW-FM-Rundfunk-Praktikum (Mende). 6. Aufl.

**6** Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 13. Aufl.

**7/8** Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren (Kühne). 13. Aufl.

**9/10** Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 10. Aufl.

**11/12** Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone (Kühne). 8. Aufl.

**15** Widerstandskunde für Radio-Praktiker (Hoffmeister). 5. Aufl.

**18/19** Radio-Röhren (Mende). 3. Aufl.

**20** Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy). 12 Aufl.

**21/21a** Funktechniker lernen Formelrechnen (Kunze). 7. Aufl.

**22/23a** Lehrgang Radiotechnik Band I (Jacobs). 11. Aufl.

**24/25a** desgl., Band II (Jacobs). 7. Aufl.

**27/27a** Rundfunkempfang mit Transistoren und Detektoren (Mende). 12. Aufl.

**28/28b** Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren (Herrnkind). 5. Auflage.

**29/30a** Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 6. Aufl.

**31/32** Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure I. Teil (Steinhauser). 10. Aufl.

**33/35** Dioden-, Röhren und Transistorvoltmeter (Limann). 7. Aufl.

**37/38** Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung (Renardy). 5. Aufl.

**41/41a** Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Dielenbach). 11. Aufl.

**42/42b** desgl., Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Dielenbach).

**43** Musikübertr.-Anlage (Kühne). 5. Aufl.

**44/44b** KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Dielenbach). 8. Aufl.

**45/46** UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure (Steinhauser). 7. Aufl.

**50** Prakt. Antennenbau (Mende). 13. Aufl.

**52/54d** Fernsehempfangstechnik (Koubek). DM 16.30.

**55/56a** Fernsehtechnik von A bis Z (Conrad). 5. Aufl.

**58** Morselehrgang (Dielenbach). 8. Aufl.

**60** Die Widerstand-Kondensator-Schaltung. Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Schneider). 6. Aufl.

**62/62a** Englisch für Radio-Praktiker (Stellrecht/Miram). 4. Aufl.

**66/67** Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure II. Teil (Steinhauser). 5. Aufl.

**68/70b** Formelsammlung für Radio-Fernsehpraktiker und Elektroniker (Rose). 11. Aufl. DM 13.50.

**71** Bastelpraxis Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Dielenbach). 8. Aufl.

**72/73** Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen (Schultheiss). 5. Aufl.

**74** Einkreis-Empfänger mit Röhren und Transistoren (Sutaner). 6. Aufl.

**76** Bastelpraxis Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Dielenbach). 8. Aufl.

**77/77a** Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt (Nieder). 6. Aufl.

**79/79a** Bastelpraxis Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Dielenbach). 8. Aufl.

**80/80c** Das Spulenbuch – Hochfrequenzspulen (Sutaner). 6. Aufl. DM 10.80.

**81/83** Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik (Leucht). 9. Aufl.

Gustav Büscher
Dipl.-Ing. A. Wiegelmann

# Kleines ABC der Elektroakustik

Mit 140 Bildern und vielen Tabellen

6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Nr. 29/30a der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

**Cellu-Band**

**1972**

Franzis-Verlag G. Emil Mayer KG

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: Buchdruckerei A. Sighart, Fürstenfeldbruck, Bahnhofweg 1
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-0296-3

## Vorwort zur 1. bis 5. Auflage

Der Inhalt des vorliegenden Bändchens richtet sich an alle, die sich mit elektroakustischen Fragen zu beschäftigen haben, bzw. an jene, die sich über den Fragenkomplex schnell und ohne viel Mühe unterrichten wollen. Insbesondere mag das Buch alten und jungen Funktechnikern willkommene Unterstützung sein.

Das Bändchen will Grundbegriffe der Elektroakustik auf leicht verständliche Weise erläutern, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Die alphabetische Ordnung wurde gewählt, damit der Leser schnell das im Augenblick interessierende Thema zu kurzer Orientierung herausgreifen kann. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wurde vermieden, mehr Begriffe als unbedingt erforderlich in Form von Stichworten aufzunehmen.

Als griffbereites kleines Nachschlagewerk gibt es schnellen Aufschluß über Zahlenwerte, die einem nicht immer gegenwärtig sind; Tabellen ergänzen den Inhalt.

Verbesserungsvorschläge nehmen Verlag und Verfasser gerne entgegen, damit die Broschüre in neuen Auflagen möglichst allen Wünschen gerecht werden kann.

Gustav Büscher

## Vorwort zur 6. Auflage

Seit nahezu 100 Jahren bildet die Elektroakustik einen feststehenden Begriff. Ursprünglich auf den Bereich der Physiksäle höherer Schulen beschränkt, ist dieser Zweig der Technik inzwischen allgemein bekannt geworden. In vielen Häusern sind HiFi-Wiedergabeanlagen für Stereodarbietungen von Rundfunk und Schallplatte oder Magnettongerät eine Selbstverständlichkeit und stellen einen wesentlichen Bestandteil einer gut eingerichteten Wohnung dar. Angesichts dieser Entwicklung ist das allgemeine Interesse für die Elektroakustik ständig gestiegen, so daß auch für das vorliegende Buch eine Neuauf-

lage erforderlich wurde. Neben gründlicher Überarbeitung des Stoffes fanden vor allem technische Neuentwicklungen Berücksichtigung. Bedingt durch den außerordentlich weit gespannten Themenkreis waren gewisse Überschneidungen nicht immer vermeidbar. Der Leser möge daher nicht daran Anstoß nehmen, wenn Begriffsbestimmungen, die unter einem Stichwort gegeben wurden, an anderer Stelle nochmals erscheinen.

Ich hoffe, daß auch diese 6. Auflage dem Leser die Möglichkeit geben wird, sich über ein gerade interessierendes Teilgebiet der Elektroakustik schnell Auskunft zu verschaffen.

Alfred Wiegelmann

# A

**Abtastwinkelfehler.** Bei der Wiedergabe von Schallplatten entsteht ein solcher Winkelfehler, weil die Nadel nicht exakt die Wiederholung der Schneidstichelbewegung ausführt, bedingt durch die radiale Führung des letzteren bei der Aufnahme. Bei hochwertigen Plattenspielern verwendet man daher einen möglichst langen Tonarm, so daß der A. vernachlässigbar klein bleibt.

**Absoluter Pegel.** Begriff aus der Studiotechnik, man unterscheidet zwischen absolutem Leistungs- und absolutem Spannungspegel.
Definitionen: a) Absoluter Leistungspegel: 1 mW an 600 Ω
b) Absoluter Spannungspegel: 0,775 V abgegeben von einem Normgenerator bei 1 mW an eine Last von 600 Ω.
siehe auch unter Dezibel und Pegel.

**Absorptionskoeffizient,** siehe unter Raumakustik.

**Abstrahlverhalten,** siehe unter Lautsprecher.

**Akustischer Kurzschluß,** siehe unter Lautsprecher.

**Akustische Leitung** (auch Schalleitung), bestimmte Ausführung eines Lautsprechergehäuses mit einer Öffnung am unteren Ende, das mit Zwischenwänden versehen ist und völlig mit Dämpfungsmaterial gefüllt ist. Ein solches Gehäuse ist reflexionsfrei und weist keine Eigenresonanzen auf.

**Akustische Linse.** Anordnung zur Streuung der Schallwellen bei höheren Tonfrequenzen, siehe auch unter Lautsprecher.

**Akustische Rückkopplung,** siehe unter Mikrofone und Schallplatte.

**Akustischer Scheinwiderstand,** Verhältnis Z des Schalldrucks $p$ zum Schallfluß (Schallfluß gleich Schallschnelle mal Strömungsquerschnitt $= s \cdot F$).

Demnach errechnet sich der akustische Scheinwiderstand zu

$$Z = \frac{p}{s \cdot F}$$

Siehe unter Schalldruck, Schallfluß, Schallschnelle.

**Akustischer Widerstand,** gleichbedeutend mit Schallhärte (siehe diese).

**Amplitude.** Volle Schwingungsweite.

**Amplitudenmodulation (AM).** Die hochfrequente Welle eines Rundfunk-Senders (Trägerwelle) wird durch tonfrequente Schwingungen so beeinflußt, daß die *Hf-Amplituden* geändert werden (im Gegensatz dazu wird bei der Frequenzmodulation (FM) die Frequenz der Trägerwelle Änderungen durch die Tonfrequenzen unterworfen).

**Anhallzeit.** In der Raumakustik bezeichnet man die Zeit, in der die Energiedichte eines Schallereignisses um sechs Zehnerpotenzen zunimmt, als Anhallzeit.

**Anpassung,** aufeinander abgestimmte Bemessung des Widerstandsverhältnisses zwischen Quelle und Verbraucher. Man unterscheidet zwischen *Leistungsanpassung, Überanpassung* und *Unteranpassung.*

1. *Leistungsanpassung:* Der (komplexe) Widerstand der Quelle *Ri* ist gleich dem (komplexen) Widerstand des Verbrauchers, bzw. der Last *Ra.* Maximale Leistungsabgabe an den Verbraucher.

2. *Überanpassung:* Belastung der Quelle *Ri* mit einem wesentlich höheren Lastwiderstand. In der Elektroakustik benutzt man Überanpassung zum Hintereinanderschalten mehrerer Verstärker (z. B. Mikrofonverstärker, Leitungsverstärker, Endverstärker). Bei dieser Betriebsart ist eine Übertragung des gesamten Frequenzbandes mit geringem Klirrfaktor am ein-

fachsten zu verwirklichen. Bei reiner Leistungsanpassung ist diese Möglichkeit nicht gegeben, weil *Ri* und *Ra* immer komplexe Widerstände (siehe diese) darstellen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet dieser Art der Anpassung sind Nf-Verstärker mit 100-V-Normausgang. Unabhängig von der Leistung des jeweiligen Verstärkers beträgt die Ausgangsspannung immer 100 V. Damit ist die Möglichkeit gegeben, mehrere Lautsprecher mit unterschiedlicher Leistung anzuschließen. Zur Errechnung des benötigten Anpassungsübertragers kann man eine einfache Formel benutzen, oder ein Nomogramm zur Hilfe nehmen (siehe unter Lautsprecher). Die soeben beschriebene Art der Anpassung (*Ra*>*Ri*) entspricht übrigens den Betriebsbedingungen eines Starkstromnetzes.

3. *Unteranpassung:* Belastung der Quelle *Ri* mit einem wesentlich niedrigeren Lastwiderstand *Ra*. Dieser Art der Anpassung kommt in der Elektroakustik praktisch keine Bedeutung mehr zu. Es sei jedoch erwähnt, daß die Ankopplung einer Pentode an die nächste Verstärkerstufe immer Unteranpassung voraussetzt, um optimale Betriebsbedingungen zu gewährleisten.

**Antiskating (Device),** Vorrichtung zum Ausgleich der auf die innere Rillenflanke einer Schallplatte wirkenden Auflagekraft. Diese Auflagekraft ist für die innere und äußere Flanke der Rille nicht gleich, es können Unterschiede bis zu 20 % bestehen, was – ohne Ausgleich – zu Wiedergabeverzerrungen oder zu vorzeitigem Verschleiß von Nadel oder Platte führen kann.

**Audiometrie,** Verfahren zur Bestimmung der menschlichen Hörfähigkeit. Man verwendet einen Nf-Generator mit geringem Klirrfaktor, der mit geeichten Regelorganen ausgestattet ist. Für Einzelfrequenzen innerhalb des Hörbereichs wird die jeweilige *Hörschwelle* ermittelt und als Kurve aufgetragen. Eine solche Kurve nennt man *Audiogramm*.

**Ausgleichsvorgänge,** Hörbarkeit von Ein- und Ausschwingvorgängen bei der Lautsprecherwiedergabe. Diese Ausgleichsvorgänge werden durch die mechanische Trägheit der Lautsprecher-

membran verursacht. Es wird eine gewisse Zeit benötigt, bis ein erfolgter Impuls eine Auslenkung hervorruft. Selbstverständlich handelt es sich dabei um winzige Sekundenbruchteile. Vor allem im Tieftonbereich können dennoch auf diese Weise erhebliche Klangbildverfälschungen zustande kommen. Zur Ermittlung dieser Eigenschaften wird die Übertragungskurve bei Speisung des Lautsprechers mit sinusförmiger Spannung im Bereich 50 Hz bis 250 Hz aufgenommen. Gemäß DIN 45 500 darf für Hi-Fi-Lautsprecher die größte Steilheit dieser so gewonnenen Kurve nicht mehr als 12 dB pro Oktave betragen.

# B

**Bändchenlautsprecher,** siehe unter Lautsprecher.

**Bändchenmikrofon,** siehe unter Mikrofon.

**Bandpaß,** siehe unter Netzwerke.

**Bar,** Druckmaß (wird in den USA angewandt), in Europa Teilwerte: das Millibar (mbar, siehe unter „Millibar") und das Mikrobar (µbar).

**Baßanhebung,** schalltechnische Anordnung zur Anhebung der tiefen Tonfrequenzen (Bässe). Ein Grund für die Anwendung der Baßanhebung ist u. a. bedingt durch die Eigentümlichkeit des menschlichen Ohres. Eine musikalische Darbietung ist im Original viel lauter als bei der Lautsprecherwiedergabe in kleinen Räumen. Je mehr die ursprüngliche Lautstärke vermindert wird, um so mehr treten in der Hörempfindung die tiefen Töne gegen die höheren zurück.

**Baßlautsprecher,** Sonderausführung eines Lautsprechers für die Abstrahlung der tiefen Töne im Bereich 30 bis 500 Hz.

**Baßreflexgehäuse**, siehe unter Lautsprechergehäuse.

**Bauakustik**, siehe unter Raumakustik.

**Bel** (b), in Deutschland kaum verwendet; die kleinere Einheit, das Dezibel (dB) gleich 1/10 Bel, ist üblich (siehe unter Dezibel).

**Betriebsleistung**, die – im Bereich 100 Hz bis 4000 Hz – von einem Lautsprecher in freiem Schallfeld abgegebene Leistung, die in 1 m Abstand einen mittleren Schalldruck von 12 µB (96 Phon) erzeugt.

**Beugung (Schallwellen)**, allmähliche Änderung der Ausbreitungsrichtung der Schallwellen, auch als *Diffraktion* bezeichnet. Ursache: Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen quer zur Ausbreitungsrichtung.

**Bewertungsfilter**, Netzwerk mit bestimmter Dämpfung für Einzelfrequenzen im Durchlaßbereich, z. B. zur Beurteilung von Grund- oder Eigengeräuschen von Tonträgern.

**Bezugsband**, Magnettonband mit genormten Aufzeichnungen zum Prüfen und Einstellen von Magnettongeräten (DIN 45 513 Bl. 1–6).

**Binaural**, beidohrig, im Gegensatz zu monaural: einohrig. Entsprechend: binaurales und monaurales Hören. Binaural ist ein Ausdruck der Stereotechnik (siehe unter Stereofonie).

**Blindwiderstand**

a) *Scheinwiderstand* eines komplexen Widerstandes (siehe diesen).

b) *Akustischer* B. Masse und Nachgiebigkeit des Mediums, in dem die Schallwellen entstehen, können in Räumen, die klein gegen deren Wellenlänge sind (Tieftonbereich), auf die Quelle (Lautsprecher) zurückwirken. Dadurch werden auf die Membran Gegen- oder Rückstellkräfte ausgeübt, die der Antriebskraft um ein Viertel einer Periode vor- oder nacheilen.

**Breitbandsystem,** Lautsprecher mit besonderen Konstruktionsmerkmalen, wodurch die Wiedergabe des gesamten Tonfrequenzbereichs ermöglicht wird.

**Brummkompensation,** Schaltungsmaßnahmen bei Verstärkern und Magnettongeräten zur Verminderung der Brummspannung (Netzbrumm).

## C

**Cassetten-Recorder,** siehe unter Magnettongerät.

**CCIR,** Abkürzung für „Commité Consultatif International des Radiocommunications", bedeutet soviel wie international empfohlene Norm, siehe Entzerrung.

**Chromatische Tonleiter,** siehe unter Tonleiter.

**Compact-Cassette,** Tonbandkassette bestimmter Bauform, etwa 1963 von Philips entwickelt, wird inzwischen von den meisten Herstellern angeboten, auch als bespielt lieferbar. Breite des Bandes: 3,81 mm, Bandgeschwindigkeit: 4,75 cm/s, Träger: Polyester, Dicke: 9, 12 und 18 µm. Handelsformen: C 60, C 90, C 120, Spieldauer: 60, 90 und 120 min. (Stereo).

**Compliance,** Nachgiebigkeit der Nadel eines Tonabnehmers in horizontaler und vertikaler Richtung, angegeben in cm/dyn, z. B. $8{,}5 \cdot 10^{-6}$ bis $12 \cdot 10^{-6}$

**Cuttern,** siehe unter Magnettongeräte.

# D

**Dämmen,** Isolieren gegen Schall.

**Dämpfung,** gleichbedeutend mit Verstärkungsverlust (= negative Verstärkung).

**Dämpfungsglieder.** Mittel zur Herabsetzung von Spannungen, Strömen oder Leistungen auf Bruchteile ihres Wertes, bei beliebiger Frequenz (siehe unter Kettenleiter).

**Dämpfungsmaße,** Dezibel (abgekürzt dB) und Neper (abgekürzt Np) (siehe diese).

**Dämpfungsverhältnis,** das Verhältnis von zwei um eine Periode auseinanderliegenden Amplitudenwerten.

**Decoder,** Baugruppe eines Stereoempfängers zur Wiedergewinnung der beiden Stereokanäle (Rechts-Signal und Links-Signal) aus dem Multiplexsignal. (Unter Multiplexverfahren versteht man Mehrfachausnutzung von Übertragungswegen.)

Aus sendetechnischen Gründen können die beiden Stereokanäle nicht getrennt übertragen werden. Weiterhin müssen Stereosendungen kompatibel sein, d. h. auch von Empfängern für einkanalige Wiedergabe einwandfrei aufgenommen werden können. Daher bedient man sich des oben erwähnten Multiplexverfahrens, das im einzelnen folgende Informationen enthält: 1. Stereohauptsignal (Summensignal R + L, das Monosendungen ähnlich ist und mit normalen Empfängern wiedergegeben werden kann). 2. Stereo-Zusatzsignal (Hilfsträger moduliert mit dem Differenzsignal R–L). 3. Pilot-Signal (Wiedergewinnung des Hilfsträgers im Empfänger).

Bedingt durch die für das spezielle Modulationsverfahren benötigte große Bandbreite sind nur UKW-Empfänger für Stereoempfang geeignet.

**Demodulation.** In der Empfangstechnik wird die Rückgewinnung des (ursprünglichen) Nf-Signals aus dem (hochfrequenten) Träger als D. bezeichnet.

**Dezibel** (dB). Das Dezibel (= 1/10 Bel) ist keine Maßeinheit wie etwa das Meter oder das Gramm. Es läßt lediglich das Verhältnis zweier gemessener Werte zueinander erkennen (Spannungen, Ströme oder Leistungen). Zum Beispiel wird am Ausgang eines Spannungsverstärkers eine bestimmte Spannung gemessen; am Eingang wird eine andere, niedrigere Spannung ermittelt. Das Verhältnis der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung beträgt vielleicht 1 zu 1000, entsprechend einer Verstärkung um das Tausendfache. – Das Dezibel gibt dieses Verhältnis nicht im natürlichen Zahlensystem, sondern logarithmisch an (Logarithmus des Spannungsverhältnisses). Damit ergibt sich für Nichtmathematiker eine Schwierigkeit, die jedoch nach einigen Vorbemerkungen leicht zu überwinden ist.

Der mathematische Ausdruck $3^2$ ist wie der Ausdruck $4^3$ eine Potenz. Er besagt, daß die untere Zahl so oft mit sich selbst multipliziert werden soll, wie die obere Zahl angibt (im Falle $3^2$ ist das Resultat $3 \cdot 3 = 9$, im zweiten Fall $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$). Den rechnerischen Vorgang nennt man „Potenzieren". Man erhebt eine Zahl in die 2te, 3te, 4te oder 100ste Potenz. Die Grundzahl nennt man „Basis", die hochgestellte Zahl heißt „Exponent" und das Resultat „Potenz".

In der Gleichung $3^2 = 9$ kann eine der drei Zahlen unbekannt sein, z. B. die 9. Da unbekannte Werte in der Mathematik mit x angegeben werden, würde eine erste Aufgabe lauten $3^2 = x$. Wir kennen das Resultat bereits.

Eine zweite Aufgabe würde so aussehen $x^2 = 9$. Das heißt, daß wir den Wert finden sollen, der zweimal mit sich selbst multipliziert 9 ergibt. Man formt die Gleichung um und schreibt

$x = \sqrt{9}$ (sprich: x gleich zweite Wurzel aus 9). Es ist das berühmte „Wurzelziehen" oder „Radizieren" (radix = die Wurzel). Die zweite Wurzel aus 25 ist z. B. 5, denn $5 \cdot 5 = 25$. Die dritte Wurzel aus 27 – niedergeschrieben $x = \sqrt[3]{27}$ – ist gleich 3 (Probe: $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$).

Eine dritte Möglichkeit sieht so aus: $3^x = 9$. Hier soll die Zahl gefunden werden, die angibt, wie oft die „Basis" 3 mit sich selbst multipliziert werden muß, damit sich 9 ergibt. (In

diesem Beispiel ist $x = 2$, denn $3^2 = 9$). Die Aufgabe des Suchens nach dem Wert des „Exponenten", der hochgestellten Zahl, nennt man „Logarithmieren" („log" vor einer Zahl heißt „Logarithmus" dieser Zahl).

In den „Logarithmen"-Tafeln, mit deren Hilfe schwierige Rechnungen sehr erleichtert werden können, findet man in Zahlenkolonnen alle Werte von Exponenten, die zu einer bestimmten Potenz gehören, wobei stillschweigend vorausgesetzt ist, daß die Basis stets 10 ist, z. B.:

| | | |
|---|---|---|
| $10^x = 10$ | $x = 1$ | $(10^1 = 10)$ |
| $10^x = 100$ | $x = 2$ | $(10^2 = 100)$ |
| $10^x = 1000$ | $x = 3$ | $(10^3 = 1000)$ |
| $10^x = 10000$ | $x = 4$ | $(10^4 = 10000)$ |

Bei den Potenzwerten 10, 100, 1000 usw. ist die Rechnung einfach, es ergeben sich immer ganze Zahlen. Anders ist es bei Potenzwerten, wie z. B. 3 oder 4 oder 16 oder 50, d. h. also, wenn die Gleichungen wie folgt lauten: $10^x = 3$, bzw. $10^x = 4$, bzw. $10^x = 16$, bzw. $10^x = 50$.

Hier die Resultate:

| | | |
|---|---|---|
| $10^x = 3$ | $x = 0{,}4771$ | $(10^{0{,}4771} = 3)$ |
| $10^x = 4$ | $x = 0{,}6021$ | $(10^{0{,}6021} = 4)$ |
| $10^x = 16$ | $x = 1{,}2041$ | $(10^{1{,}2041} = 16)$ |
| $10^x = 50$ | $x = 1{,}6990$ | $(10^{1{,}6990} = 50)$ |

Die gesuchten Werte kann man — nebenbei gesagt — aus den Logarithmentafeln ablesen, wenn man in den Kolonnen bei 3 oder 4 oder 16 oder 50 nachsieht.

**Bild 1** gibt eine Kurve wieder, deren Verlauf das Verhältnis der von einem Lautsprecher abgegebenen Lautstärke zur jewei-

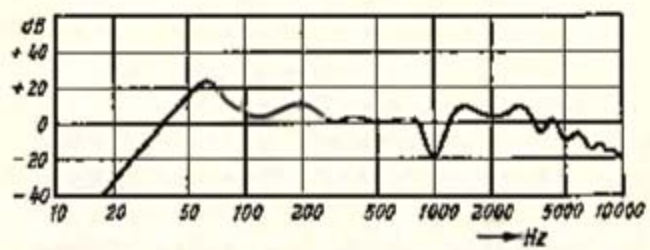
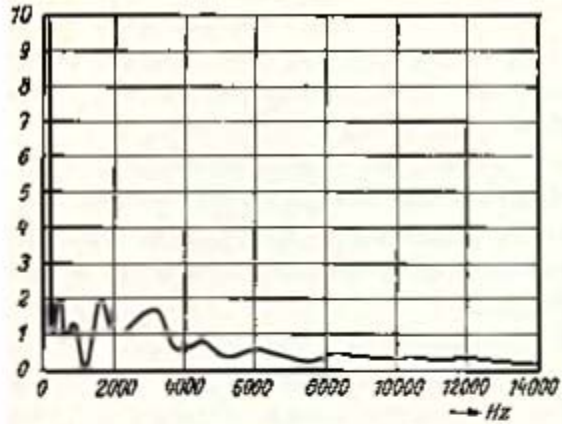



Bild 1. Schalldruckkurve eines Lautsprechers mit logarithmischer Unterteilung der Achsen




Hart am linken Rand des Kurvenblattes, entsprechend dem Wert 70 Hz der waagerechten Teilung, fällt die Kurve auf Null; dieser Kurvenverlauf ist mit linearer Unterteilung überhaupt nicht darstellbar.

Bild 2. Schalldruckkurve des gleichen Lautsprechers wie bei Bild 1, jedoch mit linearer Unterteilung beider Achsen

ligen Frequenz angibt (Schalldruckkurve). Bei etwas über 60 Hertz liegt die höchste Lautstärke, die niedrigste bei einer Tonfrequenz von 1000 Hertz.

Die Waagerechte mit den Hertz-Werten ist nicht gleichmäßig, sondern *logarithmisch* unterteilt: Die Abstände 10 bis 100, 100 bis 1000, 1000 bis 10 000 sind gleich! Diese Aufteilung hat u. a. den Vorteil, daß jenes für das Ohr so wichtige Gebiet mit den Frequenzen unter 1000 Hz breit auseinandergezogen ist, während es bei der „linearen" (normalen) Teilung der Waagerechten zu einem unbedeutenden Stück zusammengedrängt ist.

Bei der „linearen" Teilung, wie sie **Bild 2** zeigt, nimmt das Gebiet oberhalb von 5000 Hertz, das „tonlich" gesprochen nur anderthalb Oktaven umfaßt, einen ungerechtfertigt großen Teil der Darstellung ein. Bei der logarithmischen Teilung zeigt die Frequenzkurve oberhalb von 5000 Hertz noch interessante Un-

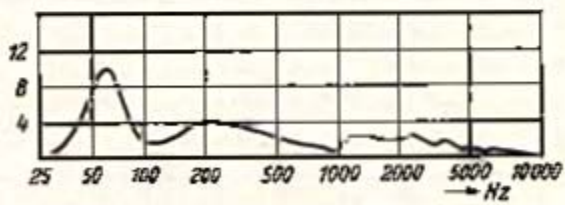



Bild 3. Schalldruckkurve des gleichen Lautsprechers wie bei Bild 1 und Bild 2, jedoch mit linearer Unterteilung der senkrechten Achse

regelmäßigkeiten, die bei der linearen Teilung kaum mehr in Erscheinung treten.

Kehren wir zu den „Dezibel" zurück, die, wie gesagt, die Wertverhältnisse logarithmisch angeben. Hier sieht es ähnlich aus. Würde man „natürliche" Verhältnis-Zahlenwerte bei der Schalldruckkurve verwenden (Bild 3), dann zeichnen sich die wesentlichen Eigenschaften des untersuchten Gerätes lange nicht so klar ab, wie bei der Dezibel-Teilung der Senkrechten, die eine „logarithmische" ist (siehe Kurvendarstellung Bild 1).

In bezug auf Schalldruckkurven und Frequenzcharakteristiken bleibt zu erwähnen, daß der Null-Pegel (die Null-Linie) bei einem bestimmten Wert als Waagerechte gezogen wird. Das geschieht leider nicht einheitlich, z. B. in Amerika an anderer Stelle, in anderer Höhe, als in Deutschland. Daher werden oft Hinweise bei den grafischen Darstellungen gegeben.

Mit den Dezibel-Angaben werden nicht nur die Verstärkungsverhältnisse, seien sie bezogen auf Spannungen, Stromstärken oder Leistungen, gekennzeichnet, sondern auch Dämpfungen („negative" Verstärkungen). Da es sich immer um Verhältniszahlen handelt, lassen sich die absoluten Größen aus den Dezibel-Angaben nicht ableiten, d. h. man kann nicht daraus ersehen, wie groß die Spannungen, Stromstärken oder Leistungen *wirklich* sind!

Die Tabelle auf Seite 17 gibt eine Übersicht. Einige Beispiele dazu: Beträgt die Spannungsverstärkung 20 Dezibel, so ist damit gemeint, daß sich die Eingangsspannung zur Ausgangsspannung verhält wie 1 zu 10, bei 40 dB wie 1 zu 100, bei 60 dB wie 1 zu 1000, bei 80 dB wie 1 zu 10 000.

Das Neper (abgekürzt Np) ist wie das Dezibel ein Verhältnismaß für Dämpfung und Verstärkung. Es gibt die Werte ebenfalls logarithmisch an, mit dem Unterschied, daß die Basis in den Potenz-Gleichungen nicht 10 ist, sondern die Zahl e = 2,718282... (z. B. $2{,}718282^{x} = 10$ und $x = 2{,}3026$). Die Zahl e – das sei hier nur nebenbei erwähnt – ist der nie ganz genau errechenbare Grenzwert der Summe

$$1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} +$$

usw.).

Zwischen Dezibel und Neper gelten die Beziehungen:

| | | |
|---|---|---|
| 1 Np | = 8,686 dB | = 0,8686 Bel |
| 1 dB | = 0,1 Bel | = 0,1151 Np |

Das Neper wird in Deutschland in der Fernsprechtechnik allgemein angewendet, während es in der übrigen Elektroakustik durch das Dezibel verdrängt wurde.

### Formeln für Verstärkung und Dämpfung

*Spannungsverstärkung*

$$v = \ln \frac{U_a}{U_e}(\mathrm{Np}) = 2{,}303 \log \frac{U_a}{U_e}(\mathrm{Np}) = 20 \log \frac{U_a}{U_e}\ (\mathrm{dB})$$

*Stromverstärkung*

$$v = \ln \frac{I_a}{I_e}(\mathrm{Np}) = 2{,}303 \log \frac{I_a}{I_e}(\mathrm{Np}) = 20 \log \frac{I_a}{I_e}\ (\mathrm{dB})$$

*Leistungsverstärkung*

$$v = \frac{1}{2} \ln \frac{P_a}{P_e}(\mathrm{Np}) = 1{,}152 \log \frac{P_a}{P_e}(\mathrm{Np}) = 10 \log \frac{P_a}{P_e}\ (\mathrm{dB})$$

*Spannungsdämpfung*

$$d = \ln \frac{U_e}{U_a}(\mathrm{Np}) = 2{,}303 \log \frac{U_e}{U_a}(\mathrm{Np}) = 20 \log \frac{U_e}{U_a}\ (\mathrm{dB})$$

*Stromdämpfung*

$$d = \ln \frac{I_e}{I_a}(\mathrm{Np}) = 2{,}303 \log \frac{I_e}{I_a}(\mathrm{Np}) = 20 \log \frac{I_e}{I_a}\ (\mathrm{dB})$$

*Leistungsdämpfung*

$$d = \frac{1}{2} \ln \frac{P_e}{P_a}(N_p) = 1{,}152 \log \frac{P_e}{P_a}(N_p) = 10 \log \frac{P_e}{P_a}\ (\mathrm{dB})$$

In diesen Formeln bedeuten:

$U_e$ = Eingangsspannung — $U_a$ = Ausgangsspannung
$I_e$ = Eingangsstrom — $I_a$ = Ausgangsstrom
$P_e$ = Eingangsleistung — $P_a$ = Ausgangsleistung

## Relativmaße in Dezibel (dB) und Neper ($N_p$)

| Spannungsverhältnis 1 : | Leistungsverhältnis 1 : | dB | $N_p$ | Spannungsverhältnis 1 : | Leistungsverhältnis 1 : | dB | $N_p$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,00 | 1,00 | 0,0 | 0,0 | 3,55 | 12,59 | 11,0 | 1,27 |
| 1,01 | 1,02 | 0,1 | 0,01 | 4,00 | 16,00 | 12,0 | 1,38 |
| 1,02 | 1,05 | 0,2 | 0,02 | 4,47 | 19,95 | 13,0 | 1,50 |
| 1,04 | 1,07 | 0,3 | 0,04 | 5,01 | 25,11 | 14,0 | 1,61 |
| 1,05 | 1,10 | 0,4 | 0,05 | 5,62 | 31,62 | 15,0 | 1,73 |
| 1,06 | 1,12 | 0,5 | 0,06 | 6,31 | 39,81 | 16,0 | 1,84 |
| 1,07 | 1,15 | 0,6 | 0,07 | 7,08 | 50,12 | 17,0 | 1,96 |
| 1,08 | 1,16 | 0,7 | 0,08 | 7,94 | 63,10 | 18,0 | 2,07 |
| 1,10 | 1,20 | 0,8 | 0,09 | 8,91 | 79,43 | 19,0 | 2,19 |
| 1,11 | 1,23 | 0,9 | 0,10 | 10,00 | 100,00 | 20,0 | 2,30 |
| 1,12 | 1,26 | 1,0 | 0,12 | 17,78 | 316,2 | 25,0 | 2,88 |
| 1,19 | 1,41 | 1,5 | 0,17 | 31,62 | 1000,0 | 30,0 | 3,45 |
| 1,26 | 1,59 | 2,0 | 0,23 | 56,23 | $3{,}162 \cdot 10^3$ | 35,0 | 4,03 |
| 1,33 | 1,78 | 2,5 | 0,29 | 100,00 | $10^4$ | 40,0 | 4,61 |
| 1,41 | 2,00 | 3,0 | 0,35 | 177,83 | $3{,}162 \cdot 10^4$ | 45,0 | 5,18 |
| 1,50 | 2,24 | 3,5 | 0,40 | 316,23 | $10^5$ | 50,0 | 5,76 |
| 1,59 | 2,51 | 4,0 | 0,46 | 562,34 | $3{,}162 \cdot 10^5$ | 55,0 | 6,33 |
| 1,68 | 2,82 | 4,5 | 0,52 | 1 000,0 | $10^6$ | 60,0 | 6,91 |
| 1,78 | 3,16 | 5,0 | 0,58 | 1 778,3 | $3{,}162 \cdot 10^6$ | 65,0 | 7,48 |
| 1,88 | 3,55 | 5,5 | 0,63 | 3 162,3 | $10^7$ | 70,0 | 8,06 |
| 2,00 | 4,00 | 6,0 | 0,69 | 5 623,4 | $3{,}162 \cdot 10^7$ | 75,0 | 8,64 |
| 2,11 | 4,47 | 6,5 | 0,75 | 10 000 | $10^8$ | 80,0 | 9,21 |
| 2,24 | 5,01 | 7,0 | 0,81 | 17 783 | $3{,}162 \cdot 10^8$ | 85,0 | 9,79 |
| 2,37 | 5,62 | 7,5 | 0,86 | 31 623 | $10^9$ | 90,0 | 10,36 |
| 2,51 | 6,31 | 8,0 | 0,92 | 56 234 | $3{,}162 \cdot 10^9$ | 95,0 | 10,94 |
| 2,66 | 7,08 | 8,5 | 0,98 | $10^5$ | $10^{10}$ | 100,0 | 11,51 |
| 2,82 | 7,94 | 9,0 | 1,04 | $3{,}162 \cdot 10^5$ | $10^{11}$ | 110,0 | 12,66 |
| 2,99 | 8,91 | 9,5 | 1,09 | $10^6$ | $10^{12}$ | 120,0 | 13,82 |
| 3,16 | 10,00 | 10,0 | 1,15 | $3{,}162 \cdot 10^6$ | $10^{13}$ | 130,0 | 14,97 |

**Diffraktion,** siehe unter Beugung.

**Diffuses Schallbild,** breit gestreuter Schall einer Schallquelle. Bei Lautsprechern werden mehrere Systeme verwendet, die gleichphasig arbeiten und in mehreren Ebenen angeordnet sind, z. B. Kugellautsprecher.

**Diskant,** höchste Singstimme, hohe Kinderstimme. Auf dem Klavier die obere Hälfte, z. B. beim Vierhändigspielen.

**Dissonanz** ist im musikalischen Sinne nicht – wie oft angenommen – ein Mißklang, vielmehr – als Gegensatz zur Konsonanz – ein *Ruheklang*. Zusammenklang von mindestens zwei Tönen, der nach einer Auflösung (in Konsonanz) verlangt. Wird auch mit *Spaltklang*, *Zwieklang* oder *Strebeklang* bezeichnet.

**Dolby- (Stretcher-)Verfahren,** Anordnung zur Verbesserung des Verhältnisses Nutz/Geräuschpegel für Geräte, Übertragungsglieder und Tonträger. Wesentliches Merkmal dieses Verfahrens ist die Aufteilung des Frequenzbandes in vier Teilbereiche, die bestimmten Geräuschspektren entsprechen, z. B. Bandrauschen, Rumpeln, Brummen usw. Für jeden dieser Teilbereiche sind Filter, Expander und/oder Kompander vorhanden. Am Ausgang des Gerätes werden die vier Teilbereiche wieder zu einem Signal vereinigt und gleichzeitig mit Teilen des ursprünglichen Signals gemischt.

**Dominante,** vorherrschender Ton.

**Doppler-Effekt.** Verkleinert sich die Entfernung zwischen einer Schallquelle und dem Ohr stetig, so tritt der Eindruck einer Tonerhöhung, bei Vergrößerung der Entfernung der einer Tonerniedrigung auf. Das Phänomen läßt sich z. B. beim Vorbeifahren einer pfeifenden Lokomotive beobachten. Die Erklärung beruht darauf, daß bei näherkommender Schallquelle mehr Schwingungen in der Zeiteinheit das Ohr erreichen (Tonfrequenzerhöhung), als in der Ruhe, umgekehrt bei der Entfernung der Schallquelle. – Der Doppler-Effekt tritt unter anderem

bei Lautsprechern auf, wenn tiefe Töne mit großer Amplitude gleichzeitig mit hohen Tönen von derselben Membran abgestrahlt werden.

**Drahtton**, Verfahren zur Schallkonservierung auf elektromagnetischem Wege. Schallträger ist ein dünner Stahldraht (siehe Magnetton).

**Drosselkette**, andere Bezeichnung für Tiefpaß (siehe unter Netzwerke).

**Drosselspulen**, Spulen mit und ohne Eisenkern, sind Blindwiderstände in Wechselstromkreisen, die in Drosselketten und Siebgliedern Verwendung finden. Je nach ihrer Dimensionierung ist ihr Wechselstromwiderstand, der sich u. a. nach der Frequenz richtet, größer oder kleiner.

**Druckkammersystem** siehe unter Lautsprecher.

**Dyn**, Einheit der Kraft im physikalischen Maßsystem (aus dem Griechischen: dynamis = Kraft).

$$1 \quad \text{dyn} = 1 \; \frac{\text{cm} \cdot \text{g}}{\text{sec}^2}$$

$$10^5 \text{ dyn} = 1 \text{Newton (N)} = 1 \; \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{sec}^2}$$

**Dynamik**, Wechseln der Lautstärke bei akustischem Geschehen: Musik, Gesang, Sprache. In technischem Sinne wird das Verhältnis von größter zu kleinster Lautstärke eines akustischen Vorgangs als Dynamik bezeichnet. Sowohl beim Rundfunkempfang als auch bei anderen stimmlichen oder musikalischen Schalläußerungen wird der Größenwert der Dynamik nach unten hin durch die Höhe der Amplitude des Störgeräusches (Grundgeräusch) begrenzt, nach oben hin durch eine Maximalamplitude, bei der verzerrungsfreie Wiedergabe gerade noch möglich ist. Bei sehr guten Schallplatten läßt sich ein Dynamikwert von etwa 60 dB, beim Magnetofonverfahren ein solcher bis 70 dB, beim Lichttonverfahren von 50 dB erreichen.

Die untere Grenze ist durch das Grundgeräusch, die obere durch nichtlineare Verzerrungen (Klirrfaktor) gegeben. Der Dynamikbereich der Sprache umfaßt etwa 50 dB, der eines großen Orchesters etwa 75 dB.

Nach internationaler Norm soll der Rundfunk seine Sendungen mit 40 dB übertragen. Größere Dynamikwerte werden zurückgeregelt. Empfängerseitig ist eine erneute Dynamikverbreiterung möglich (siehe Dynamikregelung).

Bei der Aufnahme beherrschen gute Mikrofone einen Dynamikumfang von 75 dB.

**Dynamikregelung und Dynamikentzerrung.** Das menschliche Ohr vermag akustische Eindrücke aufzunehmen und zu verarbeiten, deren Schallenergien zwischen $10^{-9}$ und $10^{2}$ Watt liegen, entsprechend dem eben noch vernehmbaren Säuseln des Windes in den Blättern und dem Dröhnen schwerer Explosionsmotoren in unmittelbarer Nähe. Die Bewältigung eines solchen Dynamikumfangs stellt – vom technischen Standpunkt aus – eine außerordentlich große Leistung dar, zu der das menschliche Ohr dank des Umstandes fähig ist, der Stärkeunterschied von zwei Empfindungen nur logarithmisch vom Verhältnis der Reizstärken abhängt. Während das menschliche Ohr also einen sehr ausgedehnten Dynamikumfang verarbeiten kann, ist diese Fähigkeit bei elektroakustischen Geräten wesentlich beschränkter.

Alle Einrichtungen zur elektrischen Aufnahme, Verstärkung, Aufzeichnung und Wiedergabe von akustischen Darbietungen im weitesten Sinne können nur eine begrenzte Dynamik einwandfrei verarbeiten. Überschreitet die Lautstärke eine gewisse obere Grenze, so treten in den beteiligten Geräten Verzerrungen auf, die zunächst die Naturtreue der Wiedergabe oder Aufzeichnung beeinträchtigen und schließlich zu Unverständlichkeit bis Unerträglichkeit des Hörbildes führen. Sinkt die Lautstärke der Originaldarbietung hingegen unter eine gewisse untere Grenze, so geht die Wiedergabe in den unvermeidbaren Störungen, wie Netzbrumm-, Film- und Nadelgeräusch u. a. m., unter. Die Breite der Dynamik, die verarbeitet werden kann, ist für verschiedene Geräte unterschiedlich (siehe auch unter Dynamik).

Es gibt Musikdarbietungen, bei denen das Verhältnis zwischen Piano- und Fortestellen 1 zu 3000 beträgt. Derartige Pegelunterschiede, die mitunter bei Musikdarbietungen impulsförmig verlaufen, lassen sich bei den einzelnen Gliedern einer Übertragungskette nicht immer beherrschen. Die Pianostellen würden im Störpegel untergehen, die Fortissimostellen würden zu einer Übersteuerung der Verstärker führen. Bei der Modulation eines Senders oder bei Tonaufnahmen auf einen Tonträger bedient man sich daher sogenannter *Dynamikregler*. Derartige Anordnungen nennt man *Dynamikpresser* oder *Dynamikkompressor* und *Dynamikdehner* bzw. *Dynamikexpander*. Wie der Name schon andeutet, dienen erstere dazu, den Dynamikbereich einzuengen, während letztere den Dynamikbereich auseinanderziehen. Beide Verfahren werden an Sendeanlagen und bei Tonaufnahmen benutzt und dienen dem Zweck, Übersteuerungen zu vermeiden und/oder einen eingeengten Dynamikbereich wieder zu erweitern. Es gibt eine ganze Reihe derartiger Schaltungen, deren Behandlung hier im einzelnen zu weit führen würde.

Alle Geräte dieser Art sind *Regelschaltungen*, die durch ein Stellglied gesteuert werden. Eine gleichgerichtete Teilspannung des Eingangssignals dient dabei als eigentliche Steuergröße zur Regelung des Verstärkungsgrades der Röhren, bzw. der Transistoren. Bei einfacheren Anordnungen benutzt man Fotowiderstände als Stellglieder, welche durch die – von Signal abhängige – Helligkeit eines Lämpchens beeinflußt werden.

Eine Sonderstellung bei den Dynamikreglern nehmen die sogenannten *Kompander* (mitunter auch Kompandor geschrieben) ein. Wie der Name schon andeutet, handelt es sich bei dieser Bauart um eine Kombination aus Dynamikpresser und Dynamikdehner. Man unterscheidet zwei Arten: Momentanwert-K. und Silben-K. Die erstgenannten Geräte dienen in Übertragungsanlagen zur Verbesserung des Störabstands (Nutz/Störspannungsverhältnis). Mit anderen Worten, Netzbrummen, Verstärkungs- und Bandrauschen werden verringert.

Silben-K. benutzt man, um bei Sprache den durchschnittlichen Modulationsgrad eines Senders zu erhöhen, wodurch eine wesentlich gesteigerte Silbenverständlichkeit erzielt wird.

Vor einigen Jahren waren auch Rundfunkempfänger der oberen Preisklasse mit einfachen Anordnungen zur Dynamikdehnung versehen, was z. B. mittels temperaturabhängiger Widerstände erreicht wurde. In jüngster Zeit ist man jedoch wieder davon abgekommen, weil bereits durch die technischen Gegebenheiten moderner Stereotechnik bei Tonträgern und Rundfunkdarbietungen im UKW-Bereich die Dynamik wesentlich erhöht werden konnte.

# E

**Echo** (Akustik), Schallwelle, die infolge einer Reflexion verzögert an den Ausgangsort zurückkommt. Der reflektierte Schall stimmt, je nach den Eigenschaften des Reflexionsmediums, mit dem ursprünglichen Schall überein. Zwischen der Echolaufzeit $t$, der Entfernung $d$, (Schallquelle-reflektierendes Medium) und der Schallgeschwindigkeit $c$ besteht folgende Beziehung: $t = 2\,d/c$.

**Echoeffekt,** künstliches Echo zur Erzielung bestimmter akustischer Effekte bei Musikaufnahmen. Früher wurde dazu eine sogenannte Echokammer benutzt; in der modernen Aufnahmetechnik verwendet man jedoch ein Magnettongerät. Über eine Mischeinrichtung wird eine Teilspannung vom Hörkopf dem Aufsprechverstärker zusätzlich zugeführt (Mehrfachecho).

**Echo-Matratze,** Einrichtung zur Erzeugung künstlichen Nachhalls. Die Bezeichnung rührt von zwei spiralig aufgewickelten Federn her, die im Rhythmus der Tonfrequenz zu Schwingungen angeregt werden. Siehe auch unter Hallspirale.

**Eckfrequenzen,** obere und untere Grenze des Übertragungsbereiches von elektroakustischen Wandlern, Netzwerken usw.

**Effektkanal,** in der Stereoaufnahmetechnik benutzte Tonspannungsquelle, die zur Erzielung bestimmter akustischer Effekte beiden Stereokanälen zugemischt werden kann.

**Eichmikrofon**, Mikrofon mit bestimmter Richtcharakteristik und bestimmter (entzerrter) Übertragungskurve, das zu Meßzwekken (z. B. Lautsprechermessungen verwendet wird.

**Eingangsempfindlichkeit**, Kenngröße eines Verstärkers. Unter E. versteht man die zur Abgabe der *Nennleistung* erforderliche Eingangsspannung.

**Einschwingzeit**, siehe unter Musikinstrumente.

**Ela**, gebräuchliche Abkürzung für Elektroakustik (z. B. Ela-Anlagen).

**Elektrische Musik.** Wie aus der Bezeichnung hervorgeht, werden die Töne auf elektrischem Wege erzeugt (elektroakustisch). Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Verfahren. Schwingungserzeuger ist grundsätzlich ein mechanisches Schwingungssystem (z. B. Stahlsaite, metallische Zunge). Die mechanischen Schwingungen werden in elektrische umgewandelt und dem eigentlichen Verstärker mit Lautsprecher zugeleitet. Ein typisches Beispiel für ein elektrisches Musikinstrument ist die Elektrogitarre. Bei ihr werden die mechanischen Schwingungen der Saiten mittels einer tonabnehmerähnlichen Einrichtung in elektrische Schwingungen umgesetzt. Einen derartigen Wandler nennt man – übrigens nicht ganz zu Recht – Gitarrenmikrofon.

Auch die *Hammondorgel* zählt zu den elektrischen Musikinstrumenten. Zur Tonerzeugung benutzt man dabei Profilscheiben aus ferromagnetischem Material, die vor Permanentmagneten rotieren. Die Form der erwähnten Profile bewirkt, daß in den zu den Magneten gehörenden Spulen periodische – nahezu sinusförmige – Wechselspannungen erzeugt werden. Durch Tastendruck werden diese Spulen den einzelnen Profilscheiben genähert. Eine große Orgel dieser Bauart ist mit mehreren Manuelen ausgestattet und kann einen Tonumfang von 7½ Oktaven wiedergeben. Eigenartigerweise empfindet das menschliche Ohr rein sinusförmige Töne nicht als klangschön. Daher benutzt man sogenannte Formantfilter (siehe diese), die eine Mischung der Grund- und Obertöne in bestimmtem Ampli-

tudenverhältnis ermöglichen. Die klangformenden Filter werden mittels Registeranordnungen zu- oder abgeschaltet. Auf diese Weise lassen sich nahezu alle bekannten Klangfarben und Klangeffekte erzeugen.

**Elektroakustische Wandler,** Vorrichtungen, die akustische Schwingungen in elektrische, oder elektrische in akustische Schwingungen umwandeln. Typische Beispiele: Mikrofon und Lautsprecher.

**Elektronische Musik.** In der Fachsprache hat sich dieser Begriff eingebürgert, um damit auf die elektronische Tonerzeugung hinzuweisen. Es gibt eine Vielzahl elektronischer Musikinstrumente, deren ausführliche Beschreibung in diesem Zusammenhang zu weit führen würde. Es seien jedoch die wichtigsten Instrumente dieser Bauart erwähnt, die sogenannten „Elektronischen Orgeln". Klangformung über Formantfilter, die jeweils über Registeranordnungen gewählt werden kann, und Wiedergabe über Verstärker mit Lautsprecher sind auch Bestandteile dieses Systems, wie bei der Hammondorgel. Formantfilter zur Klangformung werden selbst dann verwendet, wenn die Tongeneratoren bereits sägezahnförmige Spannungen liefern. Es gibt sehr aufwendige Konstruktionen, die sich im Klang kaum von einer klassischen Kirchenorgel unterscheiden. Für moderne Unterhaltungsmusik können alle nur denkbaren Klangeffekte eingeblendet werden, wie z. B. Tremolo, Vibrato, Perkussion, Nachhall usw.

Eine der ersten Bauformen der elektronischen Orgel war das Bode-Melochord. **Bild** 4 zeigt die Prinzipschaltung dieses Instrumentes. Die Einzeltöne werden durch Schwingtransformatoren erzeugt, wobei die Tonhöhe in gewissen Grenzen durch Wahl der Gitterwiderstände verändert werden kann.

Im Laufe der Jahre haben sich bei den elektronischen Orgeln zwei bestimmte Systeme durchgesetzt, und zwar Tonerzeugung mittels kontinuierlich arbeitender Einzeltongeneratoren und, bei der zweiten Bauart, mit Einzeltongeneratoren, die durch Tastendruck ein- bzw. ausgeschaltet werden. Beide Bauarten benötigen somit für jeden Ton einen eigenen Generator. Je

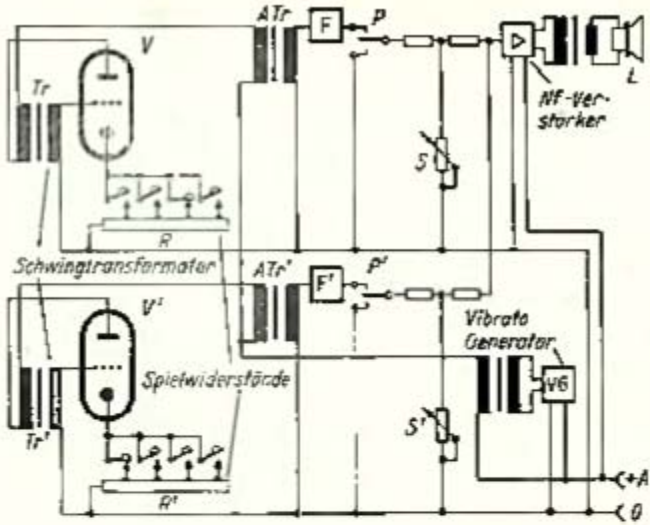



Bild 4. Prinzipschaltbild des Melochord (Bode)

nach Größe des Instruments können bis zu 96 voneinander unabhängige Generatoren erforderlich sein, deren exakte musikalische Stimmung mitunter recht schwierig ist.

Bedingt durch die immer weiter fortschreitende Entwicklung in der Elektronik ist in jüngster Zeit noch eine weitere Bauart bekannt geworden, die mit 12 voneinander unabhängigen Tongeneratoren auskommt, wobei nur die Töne der obersten Oktave erzeugt werden. Alle tieferliegenden Töne entstehen durch Frequenzteilung. Der wesentliche Vorteil der letztgenannten Bauart ist die außerordentlich vereinfachte musikalische Stimmung. Der neueste Konstruktionstrend geht dahin, nur einen einzigen quarzgesteuerten Muttergenerator zu benutzen, aus dessen Signal alle Einzeltöne durch Frequenzteilung gewonnen werden.

**Elektrostatischer Lautsprecher** siehe unter Lautsprecher.

**Elektrostriktiver Wandler,** elektroakustischer Wandler, der auf dem Prinzip beruht, daß sich bestimmte Stoffe unter Einwirkung eines elektrischen Feldes zusammenziehen.

**Empfindlichkeitskurve** des menschlichen Ohres. Siehe unter Physiologische Akustik.

**Entmagnetisierdrossel.** Bei einem Magnettongerät kann sich, nach längerer Benutzungsdauer, an Bandführungen und Tonköpfen remanenter Magnetismus ausbilden. Diese Erscheinung verursacht starkes Rauschen bei der Wiedergabe. Die E. ist als Drosselspule mit Polschuhen ausgebildet und wird mit Netzspannung gespeist. Man bringt die erwähnten Polschuhe in die Nähe der magnetisierten Teile, wobei das starke Wechselfeld die eigentliche Entmagnetisierung bewirkt.

**Entzerrer.** Anordnungen zur Kompensation von Verzerrungen in Übertragungsgliedern. Man unterscheidet zwischen Frequenzentzerrern, die z. B. angewandt werden, um den Verstärkungsabfall an den Grenzen des Übertragungsbereiches auszugleichen, und Amplitudenentzerrern, zu denen die Kompander zu rechnen sind, die unter dem Stichwort *Dynamikregelung* bereits erläutert wurden [siehe auch unter Magnettongeräte, Schallplatte, Verzerrer].

**Enveloppe,** Schallfront des sich ausbreitenden Schalls; abhängig von den gegenseitigen zeitlichen Verhältnissen der Teilschwingungen, d. h. von der Phasenlage. Es gibt z. B. Orgeln, die Töne unterhalb der Hörgrenze erzeugen können. Sie rufen aber im Zusammenspiel mit anderen hörbaren Tönen eine räumliche Klangwirkung hervor (enveloppen-hören). Beispiel für eine derartige Orgel ist St. Florianstift bei Linz; tiefster Ton: 12,5 Hz.

**Expander,** siehe unter Dynamikregelung.

***Exponentialbox* oder E.-Horn** siehe unter Lautsprechergehäuse.

# F

**Falthorn**, siehe unter Lautsprechergehäuse.

**Fernsprechqualität**, Bezeichnung für ein eingeengtes, aber für Sprachverständlichkeit völlig ausreichendes Tonfrequenzband zwischen 300 und 3400 Hz (optimal zwischen 60 und 9400 Hz).

**Filter**, Anordnung zur Frequenzgangbeeinflussung. Man unterscheidet zwischen *aktiven* und *passiven* Filtern. Alle Schaltungen, die verstärkende Elemente enthalten (Röhren oder Transistoren), werden zu den ersteren gerechnet. Passive Filter hingegen arbeiten ohne Verstärkung (siehe auch unter Netzwerke).

**Flachlautsprecher**, Lautsprecher extrem flacher Bauweise. Es handelt sich bei dieser Bauform meist um Ovallautsprecher mit besonders geformten Magnetsystemen, die innerhalb der Membrane angeordnet sind.

**Flatterecho**, Echoerscheinung innerhalb eines (geschlossenen) Raumes, die durch Mehrfachreflexion entsteht.

**Formanten.** Die besonders Vokale kennzeichnenden Obertöne. Jeder Vokal hat ganz bestimmte Formanten, die zu seinem Erkennen erforderlich sind.

| Vokal | Formantbereich |
|---|---|
| U | 200... 400 Hz |
| O | 400... 800 Hz |
| A | 300...1200 Hz |
| E | 400...600 und 2200...2600 Hz |
| I | 200...400 und 3000...3500 Hz |

An der Bildung der Konsonanten ist eine größere Zahl von Formanten beteiligt. Zischlaute haben Formanten, die bis über 10 000 Hz liegen. Das scharfe S reicht mit seinen Formanten bis über 15 000 Hz.

**Formantfilter,** aktive oder passive Filteranordnungen zum Betonen schmaler Frequenzbänder, oder zur Erzeugung bestimmter Klangfarben durch Obertonbildung. Derartige Filter bestehen aus R/C und/oder L/C Kombinantionen. Hauptanwendungsgebiet: Elektrische und elektronische Musikinstrumente.

**Fortpflanzungsgeschwindigkeit** des Schalls, siehe unter Schallgeschwindigkeit.

**Fotozelle,** siehe unter Lichtton.

**Freischwinger,** siehe unter Lautsprecher.

**Fremdspannungsabstand,** Verhältnis Nutzspannung/Stör- oder Fremdspannung (Netzbrummen, Verstärkerrauschen, Tonträgerrauschen), ausgedrückt in dB oder N.

**Frequenz,** Schwingungszahl in der Sekunde gemessen in Hertz (Hz); 1000 Hertz = 1 Kilohertz (kHz); 1000 Kilohertz = 1 Million Hertz = 1 Megahertz (MHz). Zeichen für Frequenz = $f$.

**Frequenz(bereich)** der Töne, Tonfrequenz, siehe diese.

**Frequenzbereich** der Musikinstrumente, siehe Musikinstrumente.

**Frequenzgang,** Abhängigkeit des Verhältnisses Ausgangsspannung/Eingangsspannung, bezogen auf die Frequenz. Der F. gibt – allgemein ausgedrückt – Aufschluß über elektroakustische Eigenschaften der Übertragungsglieder (Entzerrer, Verstärker, Wandler usw.) und wird durch eine Kurve dargestellt. In einer solchen F.-Kurve ist das Spannungsverhältnis in dB ausgedrückt (senkrechte Achse), die Frequenz wird meist in logarithmischem Maßstab aufgetragen (waagerechte Achse).

**Frequenzmessung** (Niederfrequenz), im Bereich von 10 bis 200 Hertz mit Zungenfrequenzmessern. Bei entsprechender Eigenschwingungszahl werden Stahlzungen durch einen Elektroma-

gneten in Schwingungen versetzt, deren verbreitertes Schwing-Ende durch seine Auf- und Abbewegungen die Anzeige übernimmt. Erforderliche Meßleistung etwa 1 Watt. – Für kleinere Leistungen und Frequenzen zwischen etwa 20 und 20 000 Hz bedarf es röhrengesteuerter oder transistorisierter Meßgeräte. Die dabei verwendeten direkt anzeigenden Instrumente enthalten zwei im rechten Winkel zueinander angeordnete Spulen, die von dem Wechselstrom, dessen Frequenz bestimmt werden soll, durchflossen werden. In der neutralen Zone der Felder beider Spulen ist das Anzeigesystem angeordnet. Die von der Frequenz abhängige Phasendifferenz der Ströme in den Spulen verursachen die auftretenden Ablenkkräfte. – In anderen Meßeinrichtungen ist die Ladezeit eines wahlweise einschaltbaren Kondensators Grundlage für die Frequenzmessung.

**Frequenzmodulation**, unter Amplituden-Modulation erläutert.

**Frequenzweiche**, siehe unter Netzwerke.

# G

**Gauß**, Maßeinheit der magnetischen Induktion (Feldliniendichte oder magnetische Flußdichte), Feldlinienzahl je $cm^2$ Polfläche eines Magneten. Formelzeichen: B

$$1 \text{ Gauß} = 10^{-8} \frac{\text{Volt} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2}$$

**Gedämpfte Schwingungen** (unstationäre Schwingungen), Schwingungen, deren Amplituden abnehmen bzw. zunehmen, also Schwankungen unterworfen sind.

**Gegenkopplung**, auch als *negative Rückkopplung* bezeichnet, Rückführung eines Teils der Ausgangsspannung an den Ein-

gang eines Verstärkers. (Man spricht von *negativer* Rückkopplung, weil der rückgeführte Teil der Ausgangsspannung dem Eingangssignal mit umgekehrter Phasenlage zugefügt wird.) Diese Maßnahme bewirkt eine wesentliche Herabsetzung linearer und nichtlinearer Verzerrungen. (Siehe auch unter Verstärker.)

**Gegentaktendstufe,** siehe unter Verstärker.

**Gehäuseresonanz,** siehe unter Lautsprechergehäuse.

**Gehörempfindung** (Gehörempfindlichkeit) siehe unter Physiologische Akustik.

**Gema,** Abkürzung für: Gesellschaft für musikalische Aufführungs- und mechanische Vervielfältigungsrechte. Die Gema vertritt die Rechte (auf Tantiemen) der Komponisten, Textdichter und Verleger. Sie zieht für jede (öffentliche) Aufführung einen gewissen Betrag ein. Nach Abzug von Verwaltungskosten gibt sie nach einem bestimmten Schlüssel aufgeteilte Prozentsätze an die oben Genannten weiter. Jeder Veranstalter einer „öffentlichen Aufführung" muß die Aufführungsgenehmigung von der Gema erwerben und einen entsprechenden Betrag abführen. Das gilt sowohl für originale Musikaufführungen (Konzerte, Tanzmusik, Kaffeehausmusik usw.) als auch für die öffentliche Wiedergabe von Reproduktionen (z. B. durch Platte oder Band, durch Film, Rundfunk, Fernsehen usw.). Zum Merkmal der „Öffentlichkeit" gehört auch eine Betriebsfeier. Lediglich Wohltätigkeitsveranstaltungen sind gebührenfrei. Private Tonbandaufnahmen sollten nach den Forderungen der Gema ebenfalls durch Zahlung eines Anteils abgegolten werden; praktisch erfolgt dies durch einen gesetzlich vorgeschriebenen Zuschlag zum Gerätepreis.

**Geräusch,** Zusammenwirken vieler unharmonischer Einzeltöne.

**Geräuschplatte,** Schallplatte, die mit einem Geräusch bespielt ist, bei der die Schalleistung über das ganze hörbare Frequenz-

gebiet verteilt ist. Verwendung für Lautsprecheruntersuchungen (siehe auch unter Schallplatten).

**Geräuschspannung,** Störspannung (Wechselspannung), die sich akustisch als Rauschen bemerkbar macht. Sie wird über ein Ohrkurvenfilter gemessen, das die Frequenz entsprechend der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Ohrs durchläßt (siehe auch unter Physiologische Akustik).

**Gesang,** Die nachfolgende *Tabelle* gibt die Frequenzbereiche der Singstimmen an (Grundtöne).

| Stimmlage | Tonfrequenz-Bereich Hz | Notenwerte |
|---|---|---|
| Baß | 74... 330 | D – e 1 |
| Bariton | 110... 352 | A – f 1 |
| Tenor | 132... 528 | c – c 2 |
| Alt | 170... 660 | f – e 2 |
| Mezzosopran | 247... 794 | h – g 2 |
| Sopran | 330...1056 | e 1 – c 3 |

Zu den durch die Notenwerte angegebenen Grundtönen kommen die für die einzelnen Stimmen charakteristischen Obertöne (individuelle Klangfarbe).

**Geschwindigkeit des Schalls,** siehe Schallgeschwindigkeit.

**Grenzbelastbarkeit,** siehe unter Lautsprecher.

**Grenzfrequenz,** untere und/oder obere Grenze des Übertragungsbereichs von Verstärkern, Wandlern und Tonträgern.

**Grundton,** tiefster Ton, den ein schwingender Körper abgibt (höhere gleichzeitig auftretende Töne heißen Obertöne, siehe diese).

# H

**Haas-Effekt,** siehe unter Physiologische Akustik.

**Halligkeit,** siehe unter Hallradius.

**Hallradius.** Wird ein Mikrofon aus größerer Entfernung besprochen, dann überwiegt der indirekt auftretende Schall. Der Abstand vom Mikrofon, bei dem die durch den direkten Schall hervorgerufene Spannung gleich der durch den indirekten Schallbedingten ist, wird als Hallradius bezeichnet. Befindet sich die Schallquelle außerhalb des Hallradius, dann ergibt sich halliger Klang: Halligkeit.

**Hallraum,** dient zur Erzeugung künstlichen „Nachhalls" (siehe diesen).

**Hallspirale,** Vorrichtung zur Erzeugung künstlichen Nachhalls. Mittels einer Verstärkeranordnung, deren Ausgangsstrom eine Schraubenfeder erregt, werden elektrische Schwingungen in mechanische umgewandelt. Am Ende der erwähnten Feder befindet sich eine tonabnehmerähnliche Vorrichtung, deren Ausgangsklemmen mit nachfolgenden Verstärkern verbunden werden. Bedingt durch die Umwandlung elektrischer in akustische Schwingungen, entsteht ein *Laufzeitunterschied* zwischen Ein- und Ausgangsklemmen dieser Anordnung. In einem Mischverstärker werden ursprüngliches und verzögertes Signal zusammengeführt, wodurch der eigentliche *Nachhall* entsteht.

**Hammondorgel,** siehe unter Elektrische Musik.

**Harmonische Verzerrungen** entstehen z. B. in einem Verstärker, in den ein reiner Ton geschickt wird, als zusätzliche harmonische Schwingung. Der Grad der harmonischen Verzerrung wird in Prozenten des Originaltons angegeben. Bei Lautstärkespitzen sind 2 bis 5 % harmonische Verzerrungen normal.

**Harmonie**, griechisch, *Einklang*. Wohlklingendes Zusammenwirken mehrerer Töne. Akkorde, ihre Verbindungen und gegenseitigen Beziehungen in Dur- und Moll-Tonarten.

**Helmholtz-Resonator**, Gerät zur Durchführung von Klanganalysen.

**Hertz**, Maßeinheit für die Frequenz, siehe diese.

**Hi-Fi-Wiedergabe**, Bezeichnung für beste Wiedergabe-Qualität (Abkürzung von High Fidelity = hohe Treue, Wiedergabetreue). Übertragungsbereich (nach DIN 45 500) für Verstärker mindestens 40 bis 16 000 Hz, für Mikrofone mindestens 50 bis 12 500 Hz, für Magnettongeräte 40 bis 12 500 Hz, für Schallplatten-Abspielgeräte mindestens 40 bis 12 500 Hz, für Tuner 40 bis 12 500 Hz, für Lautsprecher mindestens 50 bis 12 500 Hz.

Die Ausgangsleistung für in Wohnräumen verwendete Verstärker soll möglichst nicht unter 10 Watt liegen, wenn diese Leistung auch nicht ausgenutzt wird.

**Hochpaß**, siehe unter Netzwerke.

**Höhenanhebung**, schaltlechnische Einrichtung zur betonten Wiedergabe der höheren Tonlagen.

**Hörbereich**, siehe unter Physiologische Akustik.

**Hörbrille**, Schwerhörigen-Gerät (siehe auch Hörhilfen). Im Brillengestell sind ein Mikrofon und ein Transistor-Verstärker kleinster Ausmaße untergebracht, ferner eine Kleinstbatterie. Wiedergabe durch eine gesonderte Hörkapsel.

**Hörfläche**, siehe unter Physiologische Akustik.

**Hörhilfen**, Bezeichnung für Schwerhörigen-Geräte. Sie bestehen aus einem mit Transistoren bestückten kleinen Verstärker (Taschenformat), der einerseits mit einem Mikrofon, andererseits mit einer Hörkapsel verbunden ist. Lautstärkeregelung möglich. Siehe auch Hörbrille.

**Hörkopf,** siehe unter Magnettongerät.

**Hörschwelle,** siehe unter Reizschwelle.

**Hornstrahler,** siehe unter Lautsprechergehäuse.

**Hyperschall,** unhörbarer Schall mit höheren Frequenzen als die des Ultraschalls (bis über 20 Milliarden Hertz).

## I

**Impedanz,** Scheinwiderstand eines Bauelementes, wie z. B. einer Spule oder eines Kondensators, oder eine Schaltung aus mehreren Bauelementen für Wechseltrom einer bestimmten Frequenz. Typische Lautsprecherimpedanzen sind z. B. 4, 5, 8 und 16 Ω. Studiogeräte z. B. Verstärker, Mikrofone, sind für eine Impedanz von 200 Ω ausgelegt.

**Indirekter Schall** (auch *reflektierter* Schall), auf *indirektem* Weg zum Hörer gelangender Schall einer Schallquelle (siehe unter Raumakustik).

**Infraschall,** unhörbare Schallschwingungen unter 16 Hertz. Sie können von Großkraftmaschinen hervorgerufen werden und selbst auf größere Entfernungen schwere Zerstörungen bewirken. Ihre Frequenz liegt bei etwa 1 Hz. Wind und Brandung an den Meeresküsten verursachen Infraschallschwingungen in der Größenordnung von 1/50 Hz. Es gibt noch längere Wellen dieser Art mit Schwingungszahlen herab bis zu 1/200 Hz, z. B. Erdbebenwellen, die zur Vollendung eines Wellenzuges rund 3 Minuten brauchen.

**Interferenz,** Zusammenwirken zweier oder mehrerer aufeinandertreffender Wellen. Haben die interferierenden Wellen gleiche Wellenlänge und gleiche Phase **(Bild 5),** d. h. treffen Berg

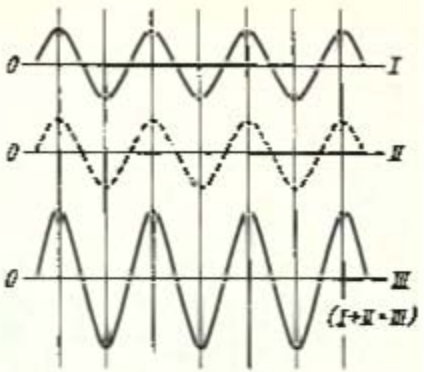



Bild 5. Interferenz zweier Wellen gleicher Länge und gleicher Phase

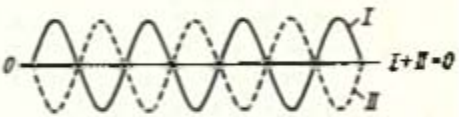



Bild 6. Interferenz zweier um 180° gegeneinander verschobener gleichlanger Wellen gleicher Amplituden. Ergebnis = Null

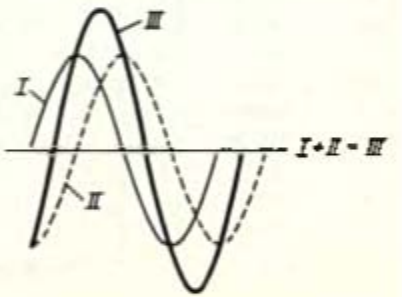



Bild 7. Interferenz zweier um 90° gegeneinander phasenverschobener Wellen gleicher Länge und gleicher Amplitude

und Tal der einen Welle (I) mit Berg und Tal der anderen (II) in einem Raum genau zusammen, so ergibt sich eine Welle mit einer Amplitude gleich der Summe der Einzelamplituden (Verstärkung; III). Zwei Wellen gleicher Länge können sich bei gleichen Amplituden auslöschen, wenn sie in der Phase um 180° gegeneinander verschoben sind (**Bild 6**). Bei größerer oder kleinerer Phasenverschiebung gegeneinander ergibt sich eine der jeweiligen Zeitwerten entsprechende neue Welle (**Bild 7**). Bei verschiedener Schwingungszahl nennt man den Vorgang Überlagerung.

**Intermodulation,** das Entstehen von Frequenzen in einem Übertragungsglied, die im Klangbild ursprünglich nicht vor-

| Musikal. Bezchg. | Frequenz Hz | Wellenlänge m | Musikal. Bezchg. | Frequenz Hz | Wellenlänge m | Musikal. Bezchg. | Frequenz Hz | Wellenlänge m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C 2 | 16,35 | 20,82 | f | 174,61 | 1,949 | a 3 | 1 760,00 | 0,1935 |
| D 2 | 18,35 | 16,54 | g | 196,00 | 1,736 | h 3 | 1 975,54 | 0,1722 |
| E 2 | 20,60 | 16,51 | a | 220,00 | 1,548 | c 4 | 2 093,02 | 0,1626 |
| F 2 | 21,83 | 15,59 | h | 246,94 | 1,378 | d 4 | 2 349,33 | 0,1448 |
| G 2 | 24,50 | 13,89 | c 1 | 261,63 | 1,301 | e 4 | 2 637,03 | 0,1290 |
| A 2 | 27,50 | 12,39 | d 1 | 293,67 | 1,159 | f 4 | 2 793,84 | 0,1219 |
| H 2 | 30,87 | 11,02 | e 1 | 329,63 | 1,032 | g 4 | 3 135,98 | 0,1085 |
| C 1 | 32,70 | 10,41 | f 1 | 349,23 | 0,975 | a 4 | 3 520,00 | 0,0968 |
| D 1 | 36,71 | 9,27 | g 1 | 392,00 | 0,868 | h 4 | 3 951,09 | 0,0861 |
| E 1 | 41,20 | 8,20 | a 1 | 440,00 | 0,774 | c 5 | 4 186,03 | 0,0813 |
| F 1 | 43,65 | 7,80 | h 1 | 493,89 | 0,689 | d 5 | 4 698,66 | 0,0724 |
| G 1 | 49,00 | 6,94 | c 2 | 523,25 | 0,651 | e 5 | 5 274,07 | 0,0645 |
| A 1 | 55,00 | 6,19 | d 2 | 587,33 | 0,579 | f 5 | 5 587,68 | 0,0609 |
| H 1 | 61,74 | 5,51 | e 2 | 659,26 | 0,615 | g 5 | 6 271,97 | 0,0543 |
| C | 65,41 | 5,20 | f 2 | 698,46 | 0,487 | a 5 | 7 040,00 | 0,0484 |
| D | 73,41 | 4,63 | g 2 | 783,99 | 0,434 | h 5 | 7 902,18 | 0,0431 |
| E | 82,41 | 4,13 | a 2 | 880,00 | 0,387 | c 6 | 8 372,06 | 0,0407 |
| F | 87,31 | 3,90 | h 2 | 987,77 | 0,345 | d 6 | 9 397,32 | 0,0362 |
| G | 98,00 | 3,47 | c 3 | 1046,51 | 0,3253 | e 6 | 10 548,13 | 0,0323 |
| A | 110,00 | 3,10 | d 3 | 1174,67 | 0,2897 | f 6 | 11 175,36 | 0,0305 |
| H | 123,47 | 2,76 | e 3 | 1318,52 | 0,2580 | g 6 | 12 543,93 | 0,0271 |
| c | 130,81 | 2,602 | f 3 | 1396,92 | 0,2437 | a 6 | 14 080,00 | 0,0242 |
| d | 146,83 | 2,317 | g 3 | 1567,99 | 0,2170 | h 6 | 15 804,36 | 0,0215 |
| e | 164,81 | 2,064 | | | | | | |

handen waren. Summen und Differenzfrequenzen (*nichtlineare* Verzerrungen).

**Intermodulationsfaktor (Intermodulationsgrad).** Maß für *nichtlineare* Verzerrungen, die in einem Übertragungsglied durch Intermodulation hervorgerufen werden. Der I. wird in % ausgedrückt. Die auf solche Weise entstehenden Verzerrungen können das Klangbild eines Lautsprechers und/oder Verstärkers ganz erheblich verschlechtern, weil die dadurch bedingten Klangverfälschungen einen wesentlich unangenehmeren Höreindruck hinterlassen als Verzerrungen, die durch *harmonische* oder *lineare* Verzerrungen verursacht werden. Bei Lautsprechern kann man durch hohe *Strahlungsdämpfung* den Inter-

modulationsfaktor niedrig halten. Das zulässige Maß beträgt im allgemeinen 5 bis 10 % der Grundtonamplituden (DIN 45 403).

**Internationale Stimmung.** Musikalische Stimmung von Musikinstrumenten auf der Basis des Kammertons von 440 Hertz. Früher lag die Frequenz eine Idee niedriger, nämlich bei 435 Hertz (Wiener Stimmung). Viele Zusammenstellungen basieren noch auf der alten Schwingungszahl des Kammertons (siehe diesen). Die Tabelle auf Seite 36 gibt die heute gültigen Schwingungszahlen der Töne zwischen 16 und 16 000 Hertz und ihre Wellenlängen an.

**Intervalle** siehe unter Musik.

**Isophone.** Kurven gleicher Lautstärke (siehe unter Physiologische Akustik).

# K

**Kakofonie,** (musikalischer) Mißklang.

**Kammerton,** Normstimmton für a 1 zum Einstimmen von Musikinstrumenten, auf Grund internationaler Abkommen auf 440 Hz festgelegt (siehe auch unter Internationale Stimmung).

**Kalottenlautsprecher,** bestimmte Bauform eines Lautsprechers, gekennzeichnet durch eine sphärisch gewölbte Membran (siehe auch unter Lautsprecher).

**Kanal,** (elektrischer) Schallweg, siehe unter Stereofonie.

**Kardioidmikrofon,** Mikrofon mit bestimmter Richtcharakteristik, die einer Kardioide (herzförmige Kurve) ähnelt.

**Kassettentonbandgerät,** siehe unter Magnettongeräte.

**Kehlkopfmikrofon,** Mikrofon für Schallabnahme am Kehlkopf mittels eines Halsbandes. Das K. wird nur für Sonderzwecke verwendet.

**Kennempfindlichkeit,** Begriff aus der Lautsprechertechnik. Darunter versteht man den mittleren Schalldruck, den ein Lautsprecher bei 1 W Leistung im Frequenzbereich 250 bis 4000 Hz abgibt, gemessen auf der Mittelachse, in 1 m Entfernung. Für Lautsprechersysteme ohne Gehäuse gilt dieser Wert bei Einbau in eine unendliche Schallwand.

**Kerrzelle,** Lichtsteuerungsorgan, das beim Tonfilm Anwendung findet (Ton). Die vom Mikrofon über einen Verstärker erhaltenen Spannungs- bzw. Stromschwankungen werden mit Hilfe einer Kerrzelle in Lichtschwankungen umgesetzt (siehe auch Lichtton).

**Kettenleiter** bestehen aus Kettengliedern (Vierpolen), die in Übertragungsleitungen eingeschaltet werden, um bestimmte verlangte Dämpfungen zu erhalten. Je nach der Anordnung der Schaltelemente (Widerstände) unterscheidet man die Glieder laut Bild 8.

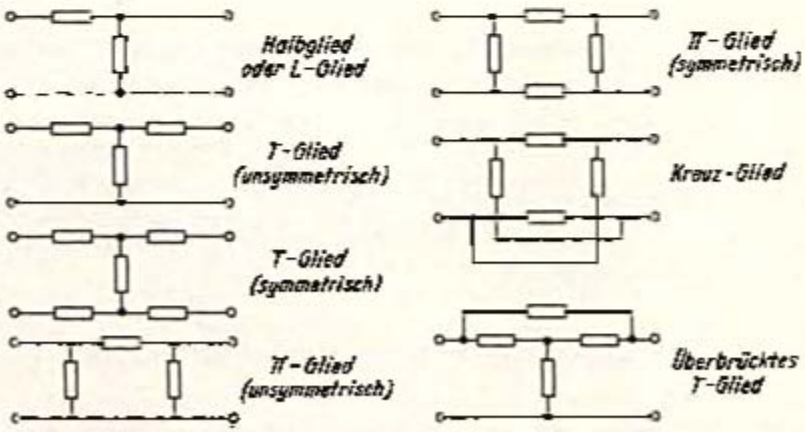



Bild 8. Verschiedene Kettenglieder (Vierpole)

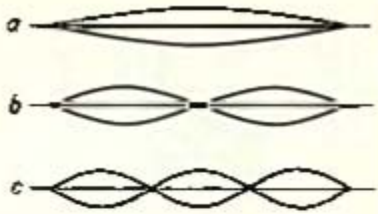



Bild 9. Zusammensetzung mehrerer sinusförmiger Tonschwingungen zum Klang. a) Grundton, b) und c) Oberschwingungen (= Vielfache vom Grundton)

**Klang**, Schallschwingungsgemisch, bestehend aus einem tiefsten Ton (Grundton) und Teiltönen (Obertönen). Letztere schwingen um ganze Vielfache schneller als der Grundton (siehe dazu **Bild 9**).

**Klanganalyse**, Verfahren zur Ermittlung der Frequenzen, Amplituden und Phasenlagen der Teil- oder Einzeltöne, aus denen ein *Klang* gebildet wird.

**Klangempfindung.** Auf das Ohr einwirkende Schallwellen haben bestimmte Empfindungen zur Folge. Rein sinusförmig verlaufende Schallereignisse werden als Ton empfunden. Aus Grund- und Teilschwingungen zusammengesetzter Schall wird hingegen als Klang wahrgenommen.

**Klangfarbe.** Die Klangfarbe charakterisiert die von verschiedenen Musikinstrumenten abgegebenen Schalläußerungen. Das a, auf der Saite einer Violine gespielt, klingt anders als das gleiche hohe a auf der Trompete oder dem Klavier. Dem stets gleichen Grundton sind verschiedenartigste Obertöne beigemischt, die je nach ihrer Zahl und Tonhöhe dem Klang die „Farbe" geben.

**Klanggemisch** ist Schall, bestehend aus Klängen mit verschiedenen Grundtönen.

**Klangregler** (auch Klangblende, Tonblende, Tonregler, korrekt: Klangfarbeneinsteller), dient zur Einstellung des Klangcharakters bei Verstärkern (auch bei Rundfunkgeräten und Endstufen von Tonbandgeräten). Mit einem Klangfarbeneinsteller kann man die tiefen bzw. hohen Tonfrequenzen bevorzugen oder

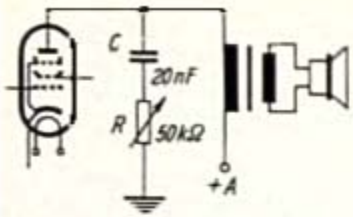



Bild 10. Klangfarbenregler zwischen Anode der Endröhre und Schaltungsnullpunkt

unterdrücken. Streng genommen sind die Bezeichnungen „Tonregler" und „Tonblende" falsch, denn es handelt sich stets um die Beeinflussung von Klängen, nicht von Tönen. Der Klangfarbenregler verbessert nicht immer die Wiedergabe, im allgemeinen muß man sogar ein unnatürlicheres Klangbild in Kauf nehmen (z. B. Bevorzugung der Tiefen gegenüber der natürlichen Wiedergabe). Die Einstellung ist immer eine Frage des persönlichen Hörergeschmacks. Daher hat sich im technischen Sprachgebrauch für derartige Schaltungen der Begriff „Geschmacksentzerrer" eingebürgert.

Die einfachste Möglichkeit der Klangbeeinflussung besteht in der Parallelschaltung eines Kondensators zum Außenwiderstand der Röhren- oder Transistorendstufe (Ausgangsübertrager). Der Kondensator bietet den höheren Tonfrequenzen einen geringeren Widerstand, so daß ein Nebenschluß zum Außenwiderstand gebildet wird. Daher können die höheren Frequenzen nur zum Teil zum Lautsprecher gelangen. (Je größer der Kondensator, um so weniger hohe Töne werden wiedergegeben.) Eine Drossel in gleicher Schaltanordnung würde bewirken, daß höhere Töne vom Lautsprecher bevorzugt werden. **Bild 10** zeigt einen Klangfarbenregler, bestehend aus Kondensator und Widerstand zwischen Anode der Endröhre und Schaltungsnullpunkt. Durch Veränderung des Widerstandes R (Potentiometer) kann man den Einfluß des Kondensators verändern. Eine Verkleinerung des Widerstandes bewirkt eine Änderung des Nebenschlusses für die hohen Töne und somit Änderung des Klangbildes.

In der modernen Verstärkertechnik kommt man selbstverständlich mit derartig einfachen Anordnungen nicht mehr aus. Vielfach besteht der Wunsch nach separater Einstellmöglichkeit für Höhen und Tiefen. Damit kann man den Frequenz-

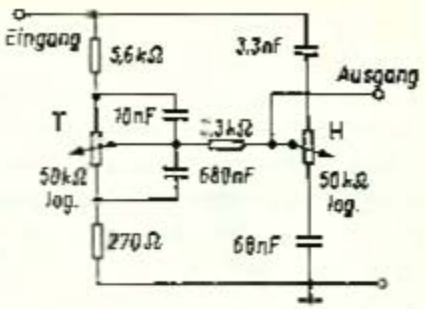



Bild 11. Klangregelnetzwerk (Siemens)

gang der Verstärker und Lautsprecher den akustischen Gegebenheiten des jeweiligen Wiedergaberaumes anpassen. Im Laufe der Jahre haben sich bestimmte Standardschaltungen zur Klangbildbeeinflussung durchgesetzt, die alle R/C-Netzwerke darstellen. Ein solches Netzwerk ermöglicht die erwünschte separate Einstellung der Höhen und Tiefen bei wahlweiser Anhebung oder Unterdrückung des jeweiligen Bereiches.

**Bild 11** zeigt das typische Schaltbild eines solchen Netzwerkes mit Tiefensteller in der linken und Höhensteller in der rechten Bildhälfte. Diese Anordnung gestattet Anheben oder Absenken der Höhen und Tiefen bis zu 20 dB, bezogen auf eine mittlere Frequenz von 1000 Hz. Die maximale Anhebung oder Absenkung der Tiefen erfolgt bei etwa 50 Hz. Für den Höhensteller liegt der entsprechende Wert bei etwa 12 kHz. Es sei noch erwähnt, daß in einigen Netzwerken dieser Art der Wider-

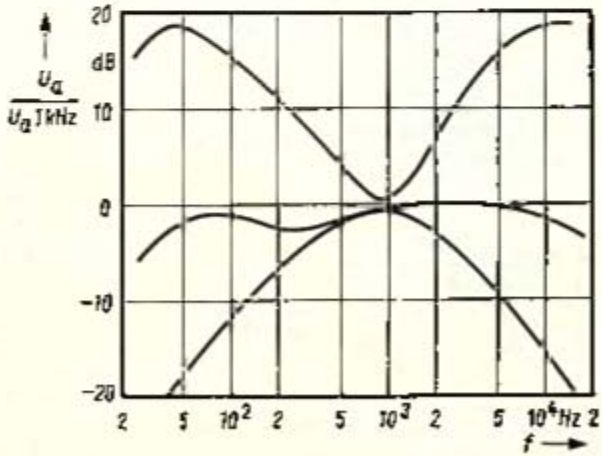



Bild 12. Kurven für den einstellbaren Frequenzgang der Anordnung nach Bild 11

stand zwischen den beiden Potentiometern (in diesem Fall 3,3 kΩ) regelbar ausgeführt ist. Damit hat man die Möglichkeit, den Einsatzpunkt der Höhenregelung (maximale Anhebung bzw. Absenkung) in gewissen Grenzen zu verschieben.

**Bild 12** zeigt die Kurven für den einstellbaren Frequenzgang, bezogen auf eine mittlere Frequenz von 1000 Hz. Die mittlere Kurve zeigt den Frequenzgang für Mittelstellung der Potentiometer H und T.

**Kleinbox (Kompaktbox),** bestimmte Ausführung eines Lautsprechergehäuses mit kleinen Abmessungen (siehe unter Lautsprechergehäuse).

**Kleinhörer,** bestimmte Bauform eines Kopfhörers mit geringen Abmessungen, die mittels eines Adapters, der sogenannten Ohrolive, in den äußeren Gehörgang eingeführt wird. Derartige Kleinhörer arbeiten zum großen Teil nach dem magnetischen Prinzip und bilden einen wichtigen Bestandteil der Hörhilfen. **Bild 13** zeigt eine solche Ausführung im Schnitt. Neben Hörhilfen wird diese Hörerbauart noch bei Heimtonbandgeräten zur Aufnahmekontrolle verwendet. Häufig werden jedoch für diesen Zweck auch *piezoelektrische* Kleinhörer eingesetzt (unter Kopfhörer näher erläutert).

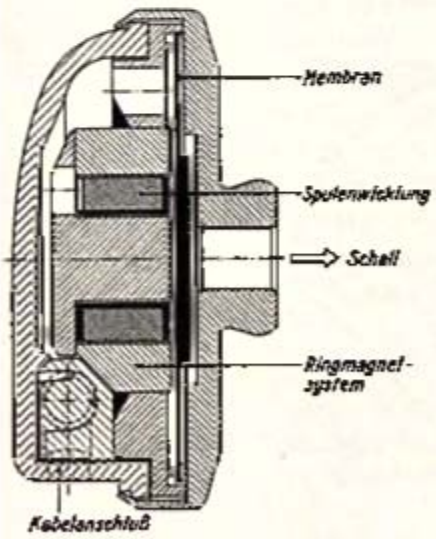



Bild 13. Schnitt durch einen magnetischen Kleinhörer für Hörhilfen (Sennheiser)

**Klingfestigkeit**, Eigenschaft eines Verstärkers, definiert als die Unempfindlichkeit der Röhren oder Transistoren gegen Erschütterungen, die auf akustischem oder mechanischem Weg erfolgen. Derartige Erscheinungen, die man auch als *Mikrofonie* bezeichnet, können an empfindlichen Verstärkern äußerst unangenehme Heul- und/oder Brummtöne verursachen. (Siehe auch unter Mikrofonie.)

**Klirrfaktor.** Mit dem Klirrfaktor wird der Oberwellenanteil einer Verstärker- oder Übertragungsanlage angegeben, wobei folgende Beziehung gilt:

$$k = \frac{\text{Effektivwert der Oberwellen}}{\text{Gesamt-Effektivwert}}$$ (Eingangsschwingung sinusförmig

Die unerwünschten Oberwellen (neben den klangbildenden Oberwellen) oder *nichtlinearen Verzerrungen* entstehen immer in nieder- oder hochfrequenten Stromkreisen, weil die verwendeten Schaltelemente (Übertrager mit Eisenkern, Röhren oder Transistoren) keine lineare Kennlinie haben. Auf diese Weise wird aus einer sinusförmigen Eingangsspannung eine nichtsinusförmige Ausgangsspannung. Durch Gegenkopplungs-Schaltungen kann der Klirrfaktor in tragbaren Grenzen gehalten werden. – Für sehr gute Wiedergabe wird ein Klirrfaktor verlangt, der nicht über 2 % liegt, für gute Wiedergabe nicht über 5 %. Ein Klirrfaktor von 10 % wird als noch gerade vertretbar angesehen. Physiologisch ist das Empfinden für den Klirrgrad allerdings subjektiv. – Mit wachsender Leistung steigt der Klirrfaktor schnell an **(Bild 14)**. Statt in % wird der Klirrfaktor gelegentlich auch als Dämpfungsmaß in dB (Klirrdämpfung) angegeben.

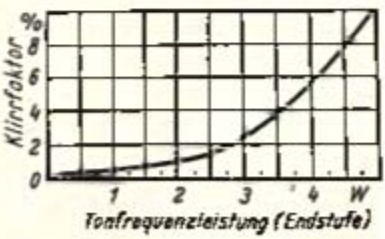



Bild 14. Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Tonfrequenzleistung

**Knall.** Einzelner Schallstoß großer Schallstärke (Schallwelle großer Amplitude).

**Koaxiallautsprecher,** siehe unter Lautsprecher.

**Kombinationstöne,** zusätzliche, ursprünglich nicht vorhandene Töne, z. B. hervorgerufen durch das gemeinsame Einwirken zweier einfacher Töne auf den gleichen Körper (Membran).

**Kompander,** siehe unter Dynamikentzerrung.

**Kompatibel** (Compatible), Ausdruck, der bei stereofonisch bespielten Schallplatten Anwendung findet. Siehe unter Stereofonie.

**Kompensationsfilter,** Vorrichtung zum Anheben oder Dämpfen der Bässe bzw. der Höhen bei der Aufnahme oder Wiedergabe zur Erzielung eines geeigneten Frequenzgangs.

**Komplexer Widerstand,** Wechselstromwiderstand mit Wirk- und Blindanteil, auch *Scheinwiderstand* oder *Impedanz* genannt.

**Kondensatormikrofon,** siehe unter Mikrofone.

**Konsonanz,** Zusammenklang mehrerer Klänge zu einem dem Ohr angenehmen Akkord (Gegensatz: Dissonanz).

**Kontraoktave,** Frequenzbereich zwischen 32 und 64 Hz.

**Kopfhörer.** In der ersten Zeit des Rundfunks waren Kopfhörer die einzigen Wiedergabeinstrumente für Rundfunkdarbietungen, verloren jedoch mit der Entwicklung guter Lautsprecher bald an Bedeutung. Erst mit der Einführung der Stereotechnik wurden Kopfhörer wieder populärer, weil bei solcher Art der Wiedergabe – durch Ausschaltung jeglicher akustischer Unvollkommenheiten des Wiedergaberaumes – ein optimaler Stereoeffekt erzielbar ist. Dabei sei nicht unerwähnt, daß erst mit der Weiterentwicklung der dynamischen Kopfhörer die

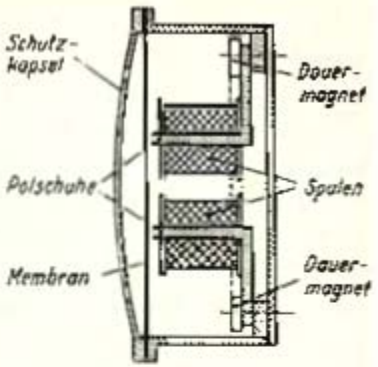



Bild 15. Elektromagnetischer Hörer einer Fernsprechanlage (Schemazeichnung)

Grundlagen für eine solche – nahezu perfekte – Wiedergabe geschaffen wurden.

In der elektroakustischen Meßtechnik spielen Kopfhörer auf Grund ihrer hohen Empfindlichkeit eine große Rolle, ermöglichen sie doch die Wahrnehmung von Schalleistungen in der Größenordnung von wenigen Mikrowatt. Verwendung ferner zu Kontrollzwecken, z. B. bei Tonbandaufnahmen, ferner zum probeweisen Abhören von Schallplatten (Phonobar), als Wiedergabeinstrumente für Schwerhörigengeräte (siehe auch Kleinhörer) und zur Aufnahme von Telegrafie. Als *Fernhörer* finden magnetische Systeme in der Fernsprechtechnik verbreitete Anwendung. – Neben den einfachen elektromagnetischen Typen gibt es dynamische, piezoelektrische und elektrostatische (letztere werden heute nur noch selten verwendet).

Die elektromagnetischen Systeme sind im Prinzip nach **Bild 15** aufgebaut: Dauermagnet mit Wicklungen auf Polschuhen; über den Polen die Membran. Frequenzbereich 300...5000 Hertz. Wechselstromwiderstand von Rundfunkkopfhörern etwa 2000 Ohm, von Fernsprechtypen 60 bis 200 Ω.

Im *piezoelektrischen* Kopfhörer werden Kristalle des Seignettesalzes verwendet, und zwar in Form von Doppelelementen, bestehend aus zwei zusammengekitteten Einzelkristallplättchen. Die Tonfrequenz wird leitenden Belägen auf den einander gegenüberliegenden Seiten des Kristallsystems zugeführt. Unter dem Einfluß eines Wechselfeldes ziehen sich die Kristallplättchen zusammen oder dehnen sich aus: sie schwingen im Takt der Tonfrequenz und bewegen so die mit ihnen in Verbin-

dung stehende Membran des Kopfhörers. Gute Frequenzkurve, kleiner Klirrfaktor.

*Dynamische Kopfhörer* zeichnen sich durch sehr gute Wiedergabe aus. Die Systeme sind den dynamischen Tauchspulen-Mikrofonen ähnlich, lediglich ist die Membran etwas kräftiger. Der geringe Wirkungsgrad (6 bis 10 %) wird in Kauf genommen, weil der Frequenzbereich von 20 bis 20 000 Hz sehr gut ist. Dieser ausgezeichnete Frequenzbereich wird durch bestimmte konstruktive Maßnahmen erreicht, wobei die Formgebung der Hörermuschel eine entscheidende Rolle spielt. Für Frequenzen oberhalb von 6 bis 7 kHz wird der Zwischenraum zwischen Ohr und Hörermembran reflektionsfrei gemacht. Auf diese Weise wird ein besonders gleichmäßiger Frequenzgang erreicht, weil für das Ohr – im Bereich der hohen Frequenzen – der Zustand des freien Schallfeldes nachgebildet ist, was den „natürlichen Bedingungen" nahekommt. Bei dieser Hörerbauart sind die Hörmuscheln relativ groß, durch Wülste an den Rändern wird der Hörende akustisch von der Umwelt isoliert (der Raum zwischen Membran und Ohr ist nach außen dicht). Diese Art dynamischer Hörer wird vorzugsweise für Stereoanlagen und Phonobars verwendet. Gebräuchliche Impedanzen: 50, 200, 400 und 500 Ω.

In den letzten Jahren wurde noch eine andere Bauart für dynamische Hörer bekannt: der *offene* Hörer. **Bild 16** zeigt eine solche Ausführung im Schnitt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, sind rückwärtige Schallöffnungen angebracht. An der Vorderseite befindet sich ein schalldurchlässiges Schaumstoffpolster, so daß der Hörende neben der eigentlichen Darbietung auch noch Geräusche seiner Umgebung wahrnehmen kann. Eigenartigerweise wird das nicht als störend empfunden. Mit dem erwähnten Schaumstoffpolster ist außerdem optimaler Abstand zwischen Ohr und Membran gewährleistet. Auf den ersten Blick könnte man meinen, daß bei dieser offenen Bauart zwischen Vorder- und Rückseite der Membran ein akustischer Kurzschluß entstehen würde. Nachdem jedoch der Weg der Schallwellen von der Rückseite zum Ohr wesentlich länger ist als der Schallweg von der Vorderseite, wird für den ersteren der wirksame Schalldruck entsprechend vermindert. Ein akusti-

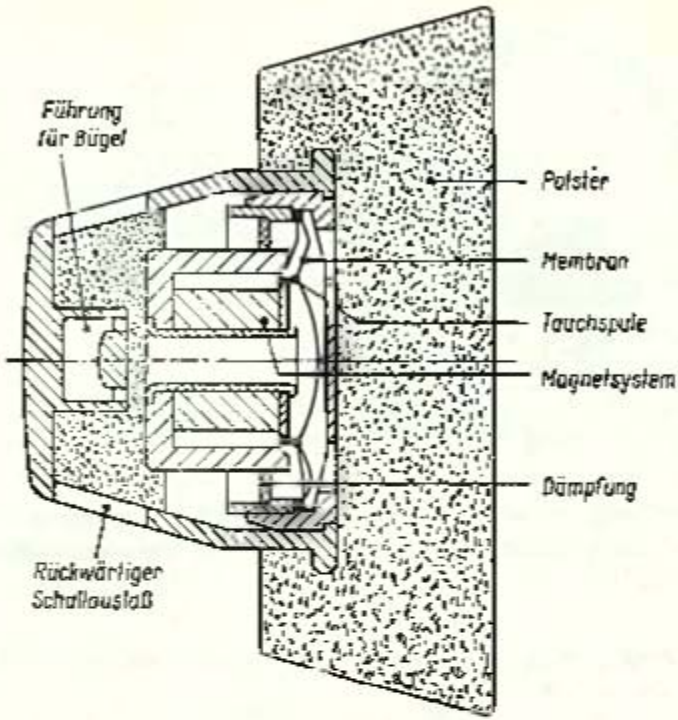



Bild 16. Schnitt durch einen dynamischen Kopfhörer (Sennheiser, Typ HD 414)

scher Kurzschluß kann sich aber nur ausbilden, wenn die Schalldrücke von Vorder- und Rückseite, die auf das Ohr einwirken, gleich sind. Daher kann, unter den geschilderten Bedingungen, ein solcher Betriebszustand nicht auftreten.

Dieser Hörer ist für eine Impedanz von 2000 Ω ausgelegt und somit auch an hochohmigen Quellen (z. B. Anschluß für piezoelektrische Hörer) verwendbar. **Bild 17** zeigt eine Mikrofon/Hörer Kombination dieser Bauart für die Anwendung in Tonstudios.

Im elektrostatischen Kopfhörer benutzt man einen unter Gleichspannung stehenden Plattenkondensator; ein Belag ist die Kopfhörermembran. Zuführung der Wechselspannung im allgemeinen über einen Transformator. Gute Wiedergabe, größere Empfindlichkeit; verlangt eine hohe Hilfsgleichspannung und kleinsten Belagabstand.

Bild 17. Dynamischer Kopfhörer, kombiniert mit Mikrofon (Sennheiser, Typ HMD 414)

**Körperschall.** Schall wird entweder durch die Luft oder durch Körper fortgeleitet. Im letzteren Fall spricht man von Körperschall.

**Kreuzmodulation,** eine andere Bezeichnung für Intermodulation (siehe diese).

**Kugellautsprecher,** Lautsprecheranordnung zur Erzielung kugelförmiger Abstrahlung. Um dieses zu erreichen, werden mehrere — gleichphasig arbeitende — Lautsprecher in einem Vieleckkörper angeordnet.

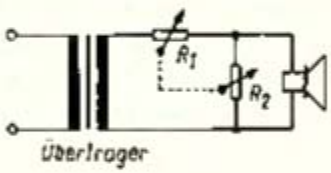
**Kugelwellen.** Der Schall breitet sich von der Schallquelle ausgehend kugelförmig aus. Eine reine Kugelwelle entsteht nur dann, wenn die Abmessungen des Schallstrahlers gegenüber der Wellenlänge des Schalls klein sind (sonst Interferenzen).

**Künstlicher Kopf** siehe unter Stereofonie.

# L

**L-Regler,** Kettenleiter mit veränderbarer Dämpfung, ausgebildet als L- bzw. Halbglied. Längs- und Querzweig sind veränderbar, dadurch ist konstante Eingangs- und Ausgangsimpedanz (bei angeschlossener Last) gewährleistet, unabhängig von der eingestellten Dämpfung. Ein typisches Anwendungsbeispiel für einen L-Regler zeigt **Bild 18.** Bei größeren Ela-Anlagen ist mitunter eine Lautstärkeregelung am Aufstellungsort des Lautsprechers erwünscht. Es handelt sich dabei um eine „Leistungsregelung" (die nicht dem Lautsprecher zugeführte Leistung wird in Wärme umgesetzt). Ausgangswiderstand des Regelgliedes und Lastwiderstand für die Tonspannungsquelle müssen für alle Reglerstellungen konstant bleiben. Beide Bedingungen werden von einem L-Glied erfüllt. Es sei noch erwähnt, daß Regler dieser Art nicht kontinuierlich veränderbar sind, sondern stufenweise. 0,5 bis 1,5 dB pro Stufe sind handelsübliche Werte.

Bild 18. Lautstärkeregelung durch L-Regler




**L/C-Glied,** siehe unter Netzwerke.

**Lärm,** Geräuschschwingungen großer Amplituden.

**Laufzeit** des Schalls, Zeit, die der Schall zur Zurücklegung einer bestimmten Strecke braucht. In verschiedenen Medien verschieden (siehe auch Schallgeschwindigkeit).

**Laufzeitregler** ermöglichen in elektroakustischen Anlagen eine Laufzeitverzögerung. Besonders bei der Beschallung sehr großer Flächen kommt ihre Anwendung in Betracht. Scheinechos werden unterbunden; letztere entstehen dadurch, daß entfernte Zuhörer das Schallereignis zugleich von den Lautsprechern, die

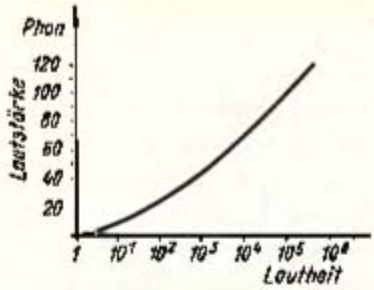



Bild 19. Abhängigkeitsverhältnis Lautheit - Lautstärke

nahe der ursprünglichen Schallquelle (z. B. Rednerpult) angeordnet sind, und von den den Zuhörern unmittelbar benachbarten Lautsprechern aufnehmen. Der Schall aus den der Schallquelle näheren Lautsprechern kommt aber etwas später bei den entfernt sitzenden Zuhörern an und verschleiert echoartig die Verständlichkeit. Wird dagegen die Modulation der Fernlautsprecher elektrisch genauso verzögert wie der Luftschall, dann fallen beide Schallwellenzüge zeitlich zusammen und die Übertragung klingt einwandfrei. – Laufzeitgeräte können auch zur Erzeugung akustischer Effekte (z. B. von Echos und von Nachhall), zur Kurztonaufzeichnung und für physiologische Untersuchungen Anwendung finden. – Die meisten dieser Geräte arbeiten nach dem Magnetton-Prinzip.

**Lautheit,** Stärke der Schallempfindung. Die wirkliche Lautstärke kann einen anderen Wert haben, als die vom Ohr empfundene Lautstärke.

Die Abhängigkeit der Lautheit von der Lautstärke veranschaulicht **Bild 19.**

**Lautsprecher** haben die Aufgabe, tonfrequente Schwingungen elektrischer Ströme in entsprechende Schallschwingungen umzusetzen und sind somit zu den elektroakustischen Wandlern zu rechnen. Nachdem diesen Bauelementen in der Ela-Technik eine große Bedeutung zukommt, seien einige allgemeine Bemerkungen eingefügt:

Die Urform eines Lautsprechers bestand aus einem magnetischen Hörer mit aufgesetztem Trichter zur Schallverstärkung.

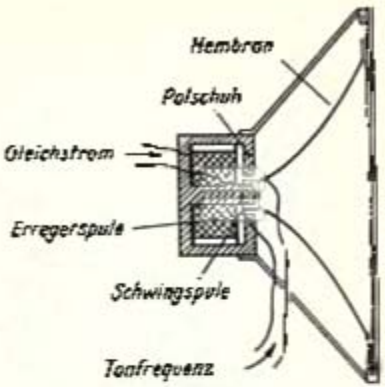



Bild 20. Prinzip des elektrodynamischen Lautsprechers mit Gleichstromspeisung

Aus diesem Prinzip wurden die sogenannten *elektromagnetischen* Systeme entwickelt. Die bekannteste Ausführung dieser Bauart waren die *Freischwinger*, die lange Jahre vorherrschten. Prinzip: Ein mit der Spitze einer konusförmigen Membran starr verbundener eiserner Anker wird von einer Sprechspule angetrieben, die oberhalb der Polschuhe eines Dauermagneten angebracht ist. Der Anker ist in der Spulenmitte frei beweglich. Die von den tonfrequenten Strömen durchflossene Spule übt auf den Anker Kräfte aus, die ein Schwingen der Membran bewirken. Der Wechselstromwiderstand der Spulen lag zwischen 200 und 2000 Ω. Die Sprechleistung war selten größer als 1,5 W. Es gab eine Vielzahl derartiger Konstruktionen, die aber heute – wegen ihres begrenzten Frequenzbereiches (200 bis 5000 Hz) – alle als überholt anzusehen sind. Anfang der 30er Jahre kamen die *elektrodynamischen* Lautsprecher auf. Prinzip: Bewegliche Schwingspule in einem starken homogenen magnetischen Feld. Damals war es noch nicht möglich, kräftige Dauermagnete herzustellen. Daher wurde das erforderliche magnetische Feld durch eine Wicklung auf dem Kern eines Topfmagneten erzeugt, die mit Gleichstrom gespeist wurde. **Bild 20** zeigt diese Bauart im Schnitt. Man erkennt die Erregerspule mit kreisförmigen Polschuhen und die konusförmige Membran, die an ihrem spitzen Ende, das zylinderförmig ausgebildet ist, die Schwingspule trägt. Im Laufe der Jahre wurden immer bessere Magnetmaterialien entwickelt, so daß man bald auf eine separate Erregerwicklung verzichten konnte.

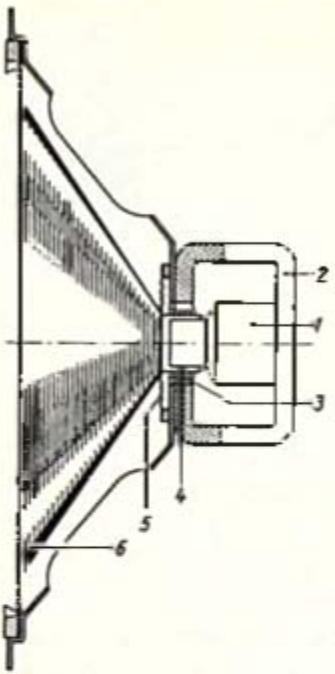



Bild 21. Schnitt durch einen dynamischen Lautsprecher mit Dauermagnet

**Bild 21** zeigt eine moderne Konstruktion eines dynamischen Lautsprechers mit Dauermagnet. Anhand dieser Abbildung sei die Arbeitsweise des dynamischen Lautsprechers erläutert: Eine Schwingspule 4 (auch Tauchspule genannt) taucht in den kreisförmigen Luftspalt 3 eines Dauermagneten 1, 2. Diese Spule wird durch eine scheibenförmige Zentrierung gehalten, die – zur Erzielung optimaler Nachgiebigkeit – gewellt ist. Die der Spule zugeführten tonfrequenten Ströme rufen Feldänderungen hervor, die sich in der Bewegung der Spule äußern. Die zylindrische Schwing- oder Tauchspule ist mit dem spitzen Ende einer konusförmigen Membran 6 fest verbunden.

Dieses dynamische Lautsprechersystem ist am weitesten verbreitet. Im Laufe der Jahre hat es eine Vielzahl anderer Lautsprecherkonstruktionen gegeben, die sich jedoch nicht behaupten konnten. Nach dem derzeitigen Stand der Technik ist der dynamische Lautsprecher – zumindest für die Wiedergabe des Tieftonbereichs – die Ideallösung. Ein Ende der Entwicklung ist noch nicht abzusehen. In den letzten Jahren wurden besondere Membranmaterialien geschaffen. Zur Herstellung der be-

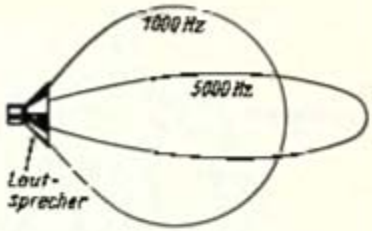



Bild 22. Die Tonfrequenzen werden verschiedenartig gebündelt abgestrahlt

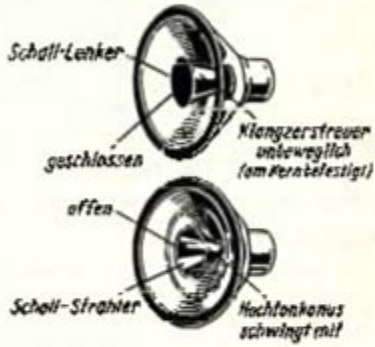



Bild 23. Lautsprecher mit Klangzerstreuer (oben) und mit Hochtonkonus (unten)

nötigten starken Magnetfelder werden Dauermagnete verwendet, die aus Kobalt-Legierungen hergestellt sind.

Im folgenden sei das Wesentliche über Lautsprecher in alphabetischer Ordnung zusammengestellt: *Abstrahlung der hohen Tonfrequenzen:* Der von normalen Lautsprechern (mit üblicher Membran) abgestrahlte Schall wird um so stärker gebündelt, je höher die Frequenz ist (Bild 22). Daher kommt es, daß ein in der verlängerten Lautsprecher-Mittelachse befindlicher Zuhörer die Höhen besser wahrnimmt als die Tiefen. Um dieser Erscheinung entgegenzuwirken, kann im Konusinnern, verbunden mit dem Kern des Magnetsystems, ein konisch geformter „Klangzerstreuer" angebracht werden (Bild 23 oben). Bereits mit diesem einfachen Hilfsmittel wird ein wesentlich diffuseres Klangbild erzeugt. In der weiteren Entwicklung wurde der Klangzerstreuer bei einigen Fabrikaten durch einen mitschwingenden Hochtonkonus ersetzt (Bild 23 unten). Bei hochwertigen Lautsprecherkombinationen werden fast ausschließlich über Filter angeschlossene Hochtonlautsprecher mit speziellem Abstrahlverhalten verwendet.

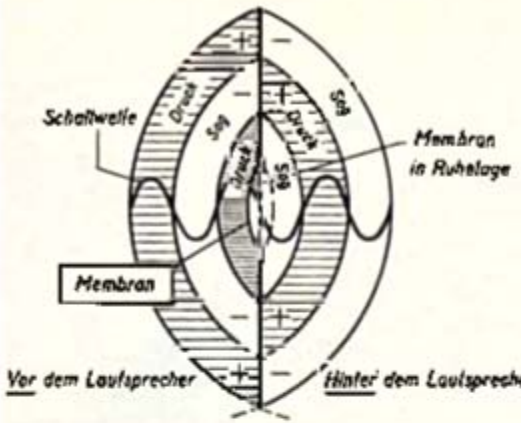



Bild 24.
Akustischer Kurzschluß

*Abstrahlung der tiefen Tonfrequenzen* ist immer von der verwendeten Gehäuseart abhängig. (Näheres unter Lautsprechergehäuse.)

*Akustischer Kurzschluß.* Bei einem frei aufgestellten Lautsprecher heben sich die nach vorn und nach hinten abgestrahlten Schallwellen gegenseitig auf (**Bild 24**). Daher ist die Verwendung einer Schallwand bzw. eines Gehäuses erforderlich, um den akustischen Kurzschluß zu verhindern.

*Anpassung.* Wie bereits unter diesem Stichwort erläutert, handelt es sich bei Lautsprechern immer um Leistungsanpassung. Das bedeutet: ein 4-Ω-Lautsprecher muß, zur Erzielung größter Leistung, an den 4-Ω-Ausgang eines Verstärkers angeschlossen werden. Dazu wäre jedoch zu sagen, daß moderne Verstärker durch eine starke Gegenkopplung einen hohen Dämpfungsfaktor aufweisen (siehe unter Verstärker-Dämpfungsfaktor), der den inneren Widerstand der Quelle herabsetzt. In der Praxis bedeutet das: man kann ohne weiteres an einen 4-Ω-Verstärkeranschluß einen 16-Ω-Lautsprecher anschließen. Die Qualität der Wiedergabe wird davon in keiner Weise beeinflußt. Man muß jedoch eine verminderte Gesamtleistung in Kauf nehmen. Beispiel: Ein Verstärker moderner Bauart mit hohem Dämpfungsfaktor sei für eine Leistungsabgabe von 40 W berechnet (Sinusnennleistung). Die abgegebene Leistung ändert sich kaum bei der Verwendung von 4-, 6-, oder 8-Ω-Lautsprechern. Wird hingegen ein 16-Ω-Lautsprecher verwendet, so stehen nur noch 25 W zur Verfügung.

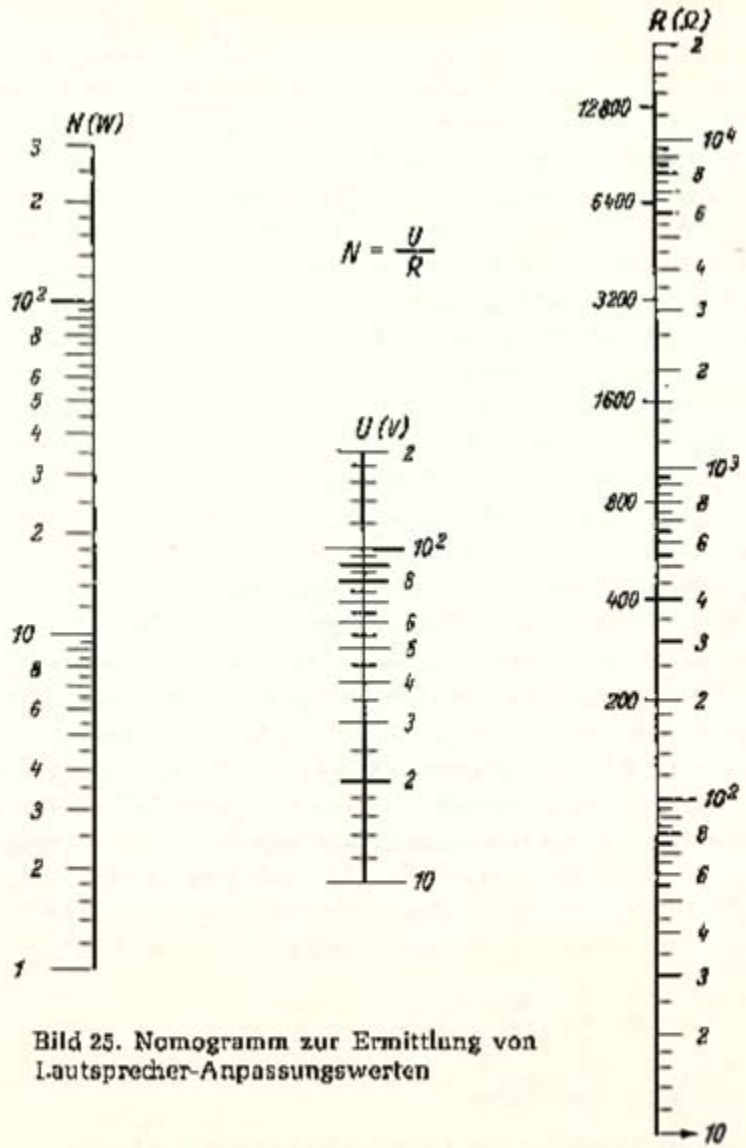



Bild 25. Nomogramm zur Ermittlung von Lautsprecher-Anpassungswerten

Noch vor einigen Jahren waren verschiedene Ausgangsimpedanzen für Ela-Verstärker gebräuchlich (z. B. 200 Ω, im Ausland auch 600 Ω und 800 Ω). Inzwischen hat sich jedoch das sogenannte 100-Volt-System eingebürgert, das weiter unten näher beschrieben wird.

Zur Ermittlung der Anpassungswerte für verschiedene Verstärker-Ausgangsimpedanzen, dient das Nomogramm **(Bild 25)**. An einen 25 W-Verstärker sollen z. B. mehrere 3-W-Lautsprecher angeschlossen werden, deren Anpassungswerte mit 1600, 3200 und 6400 Ω gegeben sind. Es ergeben sich die Fragen, welcher Anschluß zu wählen ist, und wieviel Lautsprecher betrieben werden können. Der Punkt 25 Watt auf der P-Skala wird mit dem Punkt 220 Ω auf der R-Skala verbunden. Die U-Skala wird durch die Verbindungslinie bei 70 V geschnitten. Bei dem 1600-Ω-Anschluß (R) ergibt sich bei 70 V(U) eine Leistung von rund 2,5 Watt(P) je Lautsprecher. Bei einer Verstärkerleistung von 25 Watt lassen sich 25 : 2,5 = 10 Lautsprecher anschließen. Auf ähnliche Weise läßt sich die erforderliche Verstärkerleistung errechnen bzw. aus dem Nomogramm ablesen.

Moderne Ela-Verstärker sind für das *100-Volt-System* ausgelegt. Nach dieser Norm gebaute Verstärker geben bei 100 V Ausgangsspannung ihre *Nennleistung* an die Ausgangsklemmen ab. Die erforderliche Belastungsunabhängigkeit dieser Bauart wird durch Anwendung der Gegenkopplung erzielt. Nach den Normvorschriften soll die Ausgangsspannung zwischen Leerlauf und Vollast um nicht mehr als 30 % schwanken. Die Übertrager der Lautsprecher (Parallelschaltung) erhalten eine Impedanz, die so bemessen ist, daß bei Anschluß an das 100-Volt-System die maximale, vom Lautsprecher zu verarbeitende Energie aufgenommen wird. Da die Spannung gegeben ist, läßt sich leicht errechnen, welche Leistung dem Lautsprecher bei einem bestimmten Eingangswiderstand zugeführt wird:

$$Z = \frac{U^2}{P}$$ (Ausgangsspannung) / [aufzunehmende Leistung]

(Z = Impedanz)

($U^2$ ist beim 100-Volt-System immer = 10 000).

Tabelle **Bild 26** gibt Aufschluß über das Verhältnis Impedanz des Übertragers (Lautsprechertransformator) aufgenommene Leistung. Unter diesen Umständen ist das Auffinden der Anpassung der Lautsprecher, bei gegebener aufzunehmender Leistung, wesentlich erleichtert.

| Impedanz des Lautsprecher-Transformators Ohm | Aufgenommene Leistung (abgerundete Werte) Watt | Impedanz des Lautsprecher-Transformators Ohm | Aufgenommene Leistung (abgerundete Werte) Watt |
|---|---|---|---|
| 100 | 100 | 4 500 | 2,2 |
| 140 | 71,5 | 5 000 | 2 |
| 200 | 50 | 5 500 | 1,8 |
| 500 | 20 | 6 000 | 1,6 |
| 1 000 | 10 | 7 000 | 1,4 |
| 1 500 | 6,6 | 8 000 | 1,25 |
| 2 000 | 5 | 9 000 | 1,1 |
| 2 500 | 4 | 10 000 | 1 |
| 3 000 | 3,3 | 12 000 | 0,8 |
| 3 500 | 3 | 14 000 | 0,7 |
| 4 000 | 2,5 | 20 000 | 0,5 |

Bild 26. Verhältnis Übertragerimpedanz / aufgenommene Leistung

Wie aus **Bild 27** hervorgeht, hat z. B. ein 25-W-Verstärker beim 100-Volt-System einen Anpassungswert von 400 Ω. Aus der grafischen Darstellung lassen sich die zugehörigen Werte für die gewünschte Lautsprecherleistung ermitteln.

Um bei gelegentlichen Abschaltungen von parallelgeschalteten Lautsprechern die Anpassungsverhältnisse beizubehalten, müssen – anstelle des Übertragers mit angeschlossenem Lautsprecher – entsprechend dimensionierte Widerstände eingeschaltet werden **(Bild 28)**.

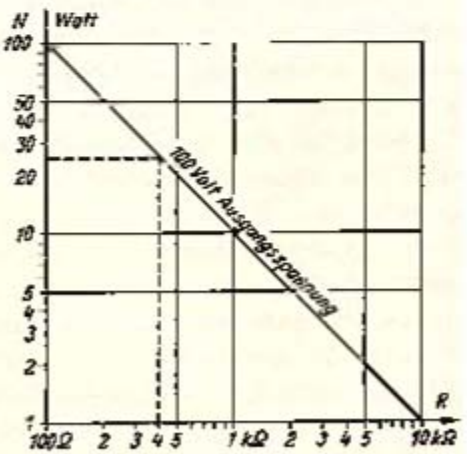



Bild 27.
Grafische Darstellung zur Ermittlung von Lautsprecher-Anpassungswerten für 100 V Normausgang

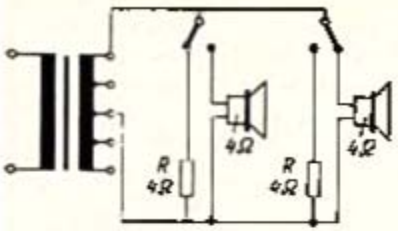



Bild 28. Anstelle abgeschalteter Lautsprecher müssen Widerstände eingeschaltet werden

*Bänddchenlautsprecher.* Auch diese Ausführung ist zu den elektrodynamischen Lautsprechern zu rechnen. Arbeitsweise: In einem konstanten Magnetfeld ist ein dünnes, geriffeltes Aluminiumbändchen aufgehängt, das von tonfrequenten Strömen durchflossen wird. Diese Ströme bewirken Schwingungen des Bändchens, die an die umgebende Luft weitergegeben werden. Bändchen-L. benötigen eine Trichteranordnung zur Erzielung eines genügend hohen Strahlungswiderstandes. Lautsprecher dieser Bauart werden ausschließlich als Hochtonlautsprecher verwendet (Frequenzbereich: 500 bis 20 000 Hz) und sind wegen ihrer naturgetreuen Wiedergabe sehr geschätzt.

*Belastbarkeit.* Es wird unterschieden zwischen *Nennbelastbarkeit (Dauerbelastbarkeit)* und *Musikbelastbarkeit* (bisher Grenzbelastbarkeit). Definitionen:

a) Unter Nennbelastbarkeit, angegeben in Watt, wird die Belastbarkeit verstanden, der ein Lautsprechersystem unter ungünstigsten Betriebszuständen (z. B. freiliegend) im Dauerbetrieb ausgesetzt werden kann, ohne beschädigt zu werden. Die Belastbarkeit ist von dem verwendeten Gehäuse bzw. der verwendeten Schallwand abhängig. In jedem Fall wird durch den Einbau eines Lautsprechersystems in eine Schallwand oder in ein Gehäuse die Belastbarkeit erhöht. Laut DIN 45 573, Bl. 2, wird die Nennbelastbarkeit durch Messung mit Rauschen ermittelt.

b) *Musikbelastbarkeit.* Angaben über mögliche Belastungsspitzen bei Betrieb eines Lautsprechers mit Sprache und/oder Musik, die unter normalen Einbaubedingungen kurzzeitig ohne Gefahr für den Lautsprecher auftreten dürfen. Unter diesen Betriebsbedingungen muß ein Lautsprecher von 250 Hz bis zur unteren Grenzfrequenz eine Belastung mit Sinustönen in Höhe

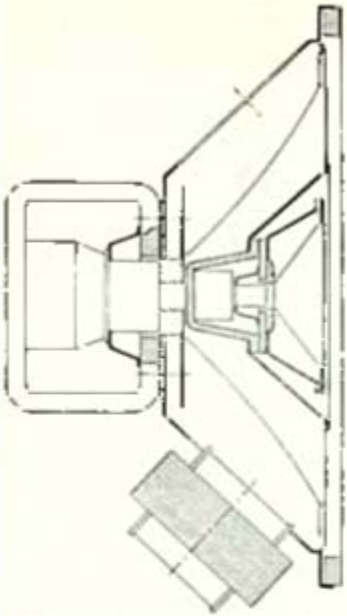


Bild 29. Systemaufbau eines Koaxiallautsprechers (Isophon)

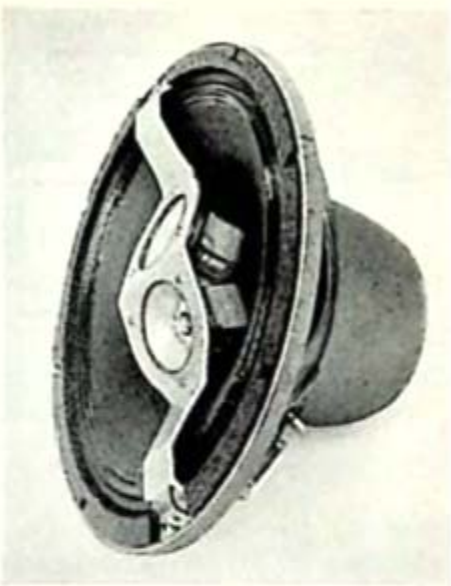


Bild 30. Breitband-Lautsprecher mit zwei Hochtönern in einer Brücke (SEL LP 215/25/95)

der Musikbelastbarkeit für 2 Sekunden vertragen, ohne daß Klirrerscheinungen (Anstoßen der Schwingspule) auftreten.

*Breitbandlautsprecher.*

a) Lautsprecher mit besonderen Konstruktionsmerkmalen zur Wiedergabe des gesamten Tonfrequenzbereichs.

b) Anordnung mehrerer Lautsprecher zu einer Kombination, die aus mehreren Einzellautsprechern besteht, die über Frequenzweichen (Netzwerke) miteinander verbunden sind.

Eine besondere Ausführungsform des B. sind *Koaxiallautsprecher*, bei denen ein Hochtonlautsprecher zentrisch im Baß/Mitteltonsystem angeordnet ist. **Bild 29** zeigt den Systemaufbau.

Eine andere konstruktive Möglichkeit besteht darin, zwei oder mehrere Hochtöner mit kleinem Membran-Durchmesser innerhalb des Hauptkonus abgewinkelt anzuordnen, wie in **Bild 30** dargestellt.

*Druckkammersystem.* Über der Membran befindet sich ein Hohlraum (Kompressionsraum) mit geringer Luftschichtdicke

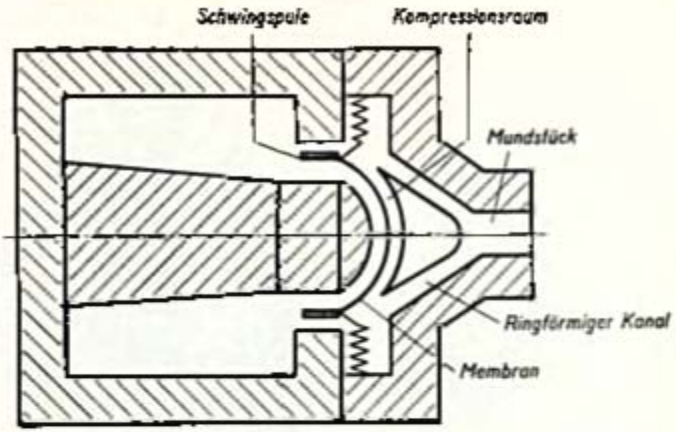



Bild 31. Schnitt durch ein Druckkammersystem

**(Bild 31)**. Die Bewegung der – von einer Schwingspule angetriebenen – Membran verschiebt die im Kompressionsraum eingeschlossene Luft, die über einen oder mehrere Kanäle zum Mundstück gepreßt wird. Bei diesem Vorgang wird die Strömungsgeschwindigkeit der Luft praktisch vergrößert, wodurch der Strahlungswiderstand für die Membran erhöht wird, und somit auch der Wirkungsgrad dieser Anordnung. An das Mundstück ist ein Trichter angesetzt, der die akustische Anpassung an die umgebende Luft bewirkt. Häufig wird diesem Trichter eine besondere Form gegeben, um die erforderliche Länge zu verkürzen (Falttrichter, Reflextrichter). D.-Lautspecher werden – wegen ihres hohen Wirkungsgrades – vornehmlich in Rufanlagen verwendet (Bahnhöfe, Sportplätze usw.). Bestimmte Ausführungsformen dieser Bauart mit räumlich kleinen Abmessungen werden auch in der Hi-Fi-Technik als Mittel- und Hochtöner benutzt, wobei meist eine akustische Linse zur Streuung verwendet wird.

*Elektrostatische Lautsprecher.* Man unterscheidet zwischen einem einfachen und einem elektrostatischen Gegentaktlautsprecher. Die erstere Bauform, deren schematischer Aufbau in **Bild 32** veranschaulicht ist, kann nur als Hochtonlautsprecher verwendet werden. Der erzielbare Wirkungsgrad ist gering. Lautsprecher dieser Bauart beruhen auf dem Kondensatorprinzip. In geringem Abstand von einer leichten metallischen Mem-

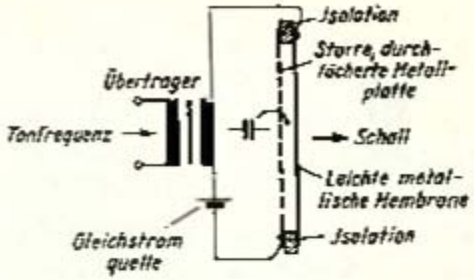



Bild 32. Schema eines elektrostatischen Lautsprechers

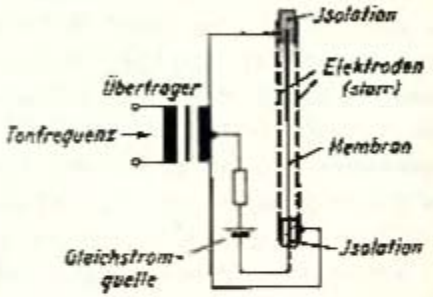



Bild 33. Schema eines elektrostatischen Gegentaktlautsprechers

bran ist eine durchlöcherte starre Metallplatte angebracht. Die Membran besteht mitunter auch aus metallisierter Kunststoffolie. Eine solche Anordnung ist durch bloßes Anlegen einer tonfrequenten Wechselspannung noch nicht betriebsfähig, weil beide Halbperioden Auslenkung in gleicher Richtung bewirken würden. Daher ist es erforderlich, zusätzlich eine Gleichspannung, die sogenannte Polarisationsspannung, anzulegen. Einwandfreies Arbeiten ist nur gewährleistet, solange die Amplitude der Wechselspannung die Höhe der Gleichspannung nicht übersteigt. Die Gegentaktausführung des Kondensator-Lautsprechers zeigt **Bild 33**. Die Arbeitsweise ist ähnlich der oben beschriebenen Anordnung. Es sei noch erwähnt, daß bei der Gegentaktausführung beide starren Elektroden durchlöchert sein müssen. Elektrostatische Lautsprecher dieser Konstruktion können nicht nur Höhen, sondern auch Tiefen mit befriedigendem Wirkungsgrad wiedergeben.

*Hochtonlautsprecher (Hochtöner).* Lautsprecher mit besonderen konstruktiven Merkmalen zur Wiedergabe des Frequenzbereiches zwischen 500 und 20 000 Hz. **Bild 34** zeigt den Anschluß des H. an den Baß-Mitteltonlautsprecher über einen Kon-

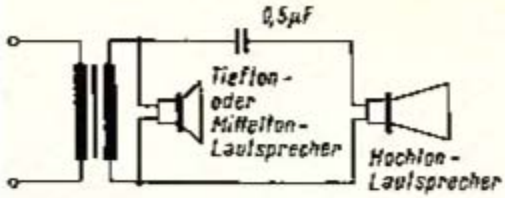



Bild 34. Anschluß eines Hochtöners mittels Kondensator

densator. Bei hochwertigen Kombinationen werden für diesen Zweck *Lautsprecherweichen* verwendet (siehe diese).

*Ionenlautsprecher.* Membranloses Lautsprechersystem. Eine kleine Luftstrecke wird mit Hilfe hoher Wechselspannungen (ca. 10 000 Volt, 400 kHz) in Ionen aufgespaltet. Der Hochspannung wird die Tonfreqenz überlagert, wodurch sich die Ionen kräftig in deren Rhytmus bewegen. Auf diese Weise angestoßen, werden in der umgebenden Luft abstrahlende Schallwellen erzeugt. Derartige Lautsprecher arbeiten vollkommen trägheitslos, haben jedoch keine große Verbreitung gefunden.

*Kalottenlautsprecher.* Wie oben näher erläutert, wird von Konuslautsprechern bei höheren Frequenzen der abgestrahlte Schall stak gebündelt. Die erwähnten klangstreuenden Mittel bringen zwar eine wesentliche Verbesserung in dieser Hinsicht, sind aber letzlich nur als Notbehelf anzusehen.

Durch Verwendung einer kleinen – sphärisch gewölbten – Membran, wird der Abstrahlwinkel wesentlich vergrößert. Durch eine solche konstruktive Maßnahme kann der Winkel z. B. noch bei 16 000 Hz 100° betragen. Der K. wurde anfangs ausschließlich als Hochtöner verwendet. Seit einiger Zeit ist jedoch auch ein Mitteltöner dieser Bauart auf dem Markt (Braun). **Bild 35** zeigt eine solche Ausführung im Schnitt.

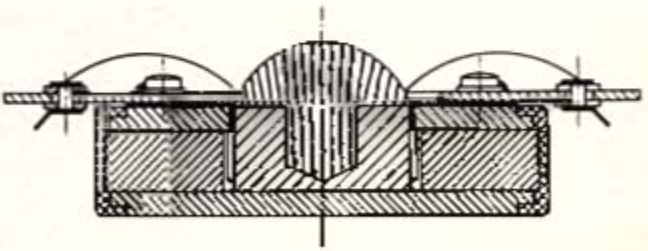


Bild 35. Schnitt durch ein Mitteltonsystem mit Kalottenmebrone (Braun)
K = Kalottenmembran, D = Dämpfungsmaterial,
M = Magnetsystem, S = Schwingspule

*Kristallautsprecher* (piëzoelektrische L.). Die Arbeitsweise beruht auf dem piëzoelektrischen Effekt gewisser Kristalle, die sich unter dem Einfluß von Wechselspannungen verformen. K.-Lautsprecher sind nur für die Hochtonwiedergabe geeignet und werden daher vorzugsweise als Hochtöner verwendet. Die tonfrequente Wechselspannung muß gleichspannungsfrei zugeführt werden, Anschluß daher über Kondensatoren oder Übertrager. Derartige Lautsprecher sind als kapazitive Blindwiderstände anzusehen, z. B. 25 kΩ bei 1000 Hz, was einem Kondensator von etwa 6500 Picofarad entsprechen würde.

*Lautsprecherweiche*, Netzwerk bestehend aus C- und L-Gliedern zur Aufteilung der Frequenzbereiche für die einzelnen Teilbereiche der verwendeten Lautsprecher (Baß-, Mittel- und Hochtonbereich). Diese Weichen dämpfen den nicht erwünschten Teilbereich 6, 12 oder 18 dB pro Oktave (siehe auch unter Netzwerke).

*Lautstärkeregelung (bei Lautsprechern)* kann mittels drahtgewickelter Potentiometer (hohe Belastbarkeit wegen der relativ hohen Ströme erforderlich) erfolgen, ein L-Regler ist jedoch vorteilhafter (siehe diese).

*Luftspaltenergie*. Angabe über die Energiemenge, die im Luftspalt eines Magnetsystems vorhanden ist, errechnet aus dem Volumen des Luftspalts und dem Quadrat der Induktion.

*Magnetischer Fluß*, rechnerisches Produkt aus magnetischer Induktion und Luftspaltfläche.

*Magnetische Induktion*, Angabe über die Dichte des magnetischen Feldes im Luftspalt.

*Mitteltonlautsprecher*. Lautsprecher für die Wiedergabe des Mitteltonbereiches (500 bis 2000 Hz).

*Nennscheinwiderstand (Impedanz)*. Scheinwiderstand der Schwingspule eines Lautsprechers bei 1000 Hz, Toleranz ± 10 %. Für Tieftonlautsprecher wird der Scheinwiderstand für eine Frequenz von 400 Hz angegeben.

Eine Schwingspule stellt immer einen induktiven Blindwiderstand dar. Mit anderen Worten, der Wechselstromwiderstand ändert sich mit der Frequenz. Beispiel: Eine Schwingspule mit einem N. von 8 Ω weist bei 2000 Hz einen Scheinwiderstand von 16 Ω auf. (Das Verhältnis kann sich im gesamten

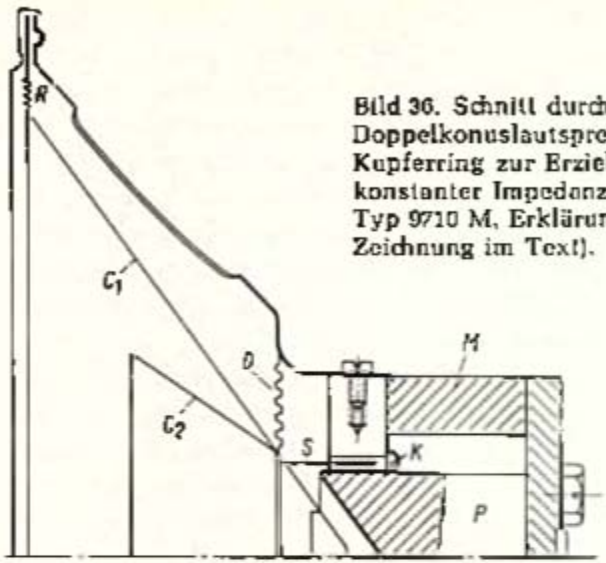



Bild 36. Schnitt durch einen Doppelkonuslautsprecher mit Kupferring zur Erzielung konstanter Impedanz. (Valvo Typ 9710 M, Erklärung der Zeichnung im Text).

Wiedergabebereich bis auf mehr als 1:5 erhöhen). Diese Erscheinung verschlechtert den Wirkungsgrad eines Lautsprechers, vor allem im Hochtonbereich.

Es gibt verschiedene konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Frequenzabhängigkeit, die bekannteste davon sei kurz erläutert: Die Anbringung eines Kupferrings innerhalb der Schwingspule hebt deren Selbstinduktion teilweise auf, so daß sich im Bereich zwischen 400 und 18 000 Hz der Scheinwiderstand nur wenig ändert (etwa 1:1,5). **Bild 36** zeigt ein Schnittbild eines solchen Lautsprechers (Valvo, Typ 9710 M, Doppelkonus-Bauart).

In der Zeichnung bedeuten: $C_1$ = Hauptkonus, $C_2$ = Hilfskonus, S = Schwingspule, D = Zentrierung, R = gewellter Konusrand, M = Dauermagnet, K = Kupferring und P = Kern des Magnetsystems mit konischer Aussparung für die Spitze des Konus' $C_1$.

*Normen der Lautsprechertechnik.* DIN 45 500, Blatt 7 (Mindestanforderungen), ferner die Normblätter DIN 45 570, 45 573, 45 574, 45 575, erhältlich beim Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln.

*Oval-Lautsprecher.* L. mit ovaler Membran. Vorteil gegenüber Rundlautsprechern: relativ gleichmäßige Abstrahlung hoher und tiefer Töne, einfache Montage.

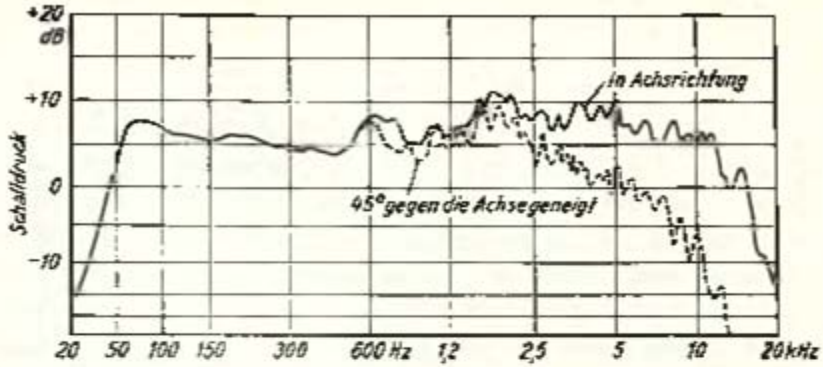



Bild 37. Schalldruckkurve einer modernen Breitband-Kombination (SEL 215/25/95)

*Partialschwingungen.* Bei einem Konuslautsprecher wandert bei höheren Frequenzen eine Welle vom spitzen zum stumpfen Ende der Membran und läuft zurück. Dabei bilden sich auf der Membranoberfläche stehende Wellen aus, die Teil- oder *Partialschwingungen* hervorrufen. Diese Erscheinung führt zu Klangverfälschungen (Ansteigen des Klirrfaktors). Abhilfe: Membranen aus mehrschichtigen Materialien, bestimmte Ausführungen der Membranrand-Einspannung. P. treten nur oberhalb 500 Hz auf.

*Piëzoelektrischer* Lautsprecher siehe Kristallautsprecher.

*Resonanzfrequenz,* Eigenresonanz des Lautsprechersystems, bei Gehäuselautsprechern Eigenresonanz des Systems in eingebautem Zustand.

*Schalldruckkurve* (auch *Übertragungskurve*). Angabe über den Frequenzgang eines Lautsprechers (Schalldruck in Abhängigkeit von der Frequenz). Die ideale Kurve würde geradlinig zwischen 16 und 20 000 Hz verlaufen. In Wirklichkeit weist die Kurve, selbst eines sehr guten L., zahlreiche Höcker und Einbuchtungen auf. **Bild 37** stellt die Schalldruckkurve einer modernen Breitband-Kombination dar (SEL 215/25/95). Das Kurvenbild enthält noch eine zweite strichlierte Kurve für den Bereich der mittleren und hohen Frequenzen, die die Meßresultate darstellt für eine Neigung von 45° gegen die Achsrichtung. **Bild 38** zeigt die Schalldruckkurve eines typischen Hochtonlautsprechers.

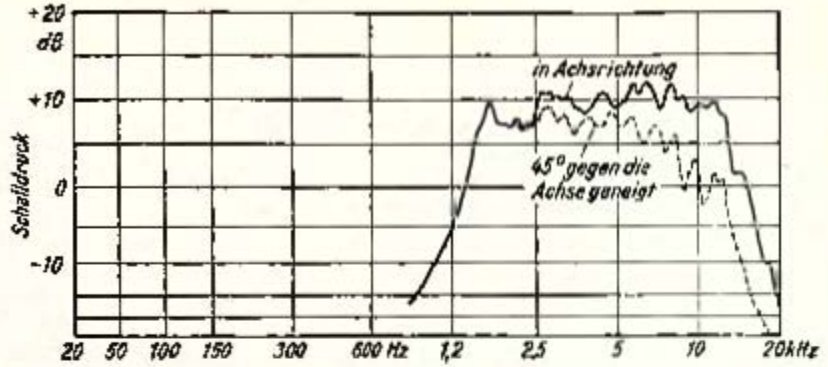



Bild 38. Schalldruckkurve eines Hochtonlautsprechers (SEL LPH 65/12/100)

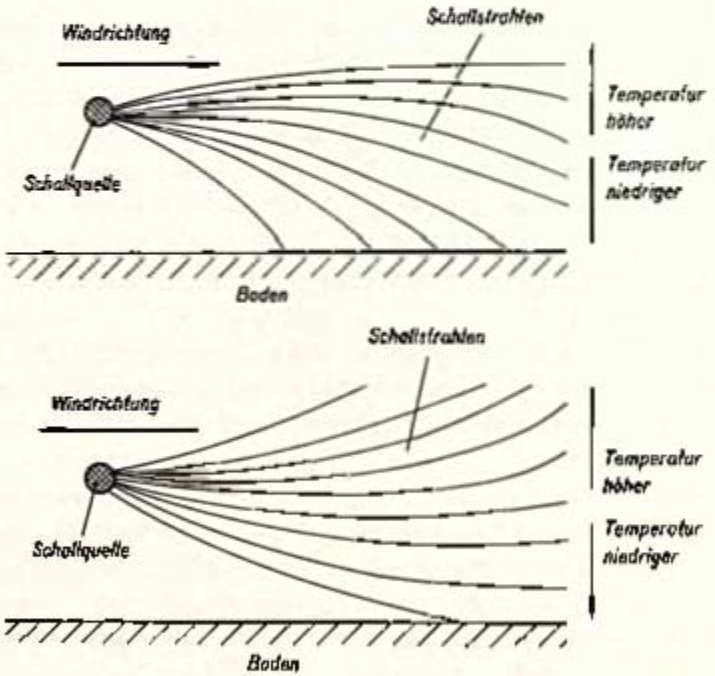



Bild 39. Einfluß von Wind und Temperatur auf die Schallstrahlung

*Schallstrahlenkrümmung.* Bei Lautsprecherwiedergabe im Freien führen Wind und Temperaturunterschiede zu Krümmungen des Schallweges. Die Schallstrahlen schwenken nach der Seite der niedrigen Schallgeschwindigkeit ab (**Bild 39**).

*Strahlungswiderstand*, akustischer Widerstand, der für eine Lautsprechermembran durch die umgebende Luft gebildet wird. Mitunter spricht man in diesem Zusammenhang auch von *Strahlungsdämpfung*.

*Übertragungsbereich*, Frequenzbereich eines Lautsprechers. Gegenüber dem mittleren Schalldruck ist für die Grenzfrequenz ein Abfall von 10 dB angenommen. Nach DIN-Normen muß der Übertragungsbereich für HiFi-Lautsprecher mindestens von 50 bis 12 500 Hz umfassen, gemessen mit Terzrauschen. Im Bereich 100 Hz bis 4000 Hz darf der Abfall gegenüber dem Mittelwert nur 8 dB betragen.

*Wirkungsgrad*. Verhältnis der abgegebenen akustischen Leistung zur zugeführten elektrischen Leistung. Der Wirkungsgrad moderner dynamischer Lautsprecher liegt bei etwa 10 bis 14 %. Dieser Wert wächst mit dem Quadrat der Felddichte im Luftspalt des Magneten und verringert sich mit dem Quadrat der Masse der Membran mit Schwingspule. Eine Verkleinerung der Membran würde zu einer Benachteiligung der tiefen Töne führen. Der Entwicklungstrend geht darin, möglichst leichte Membranen herzustellen. Weiterhin spielen Form und Material des Dauermagneten, Art der Wicklung der Schwingspule und deren (natürliche) Kühlung eine wichtige Rolle in dem Bemühen, einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen.

**Lautsprechergehäuse.** Zur Erzielung guter Wiedergabe müssen Lautsprecher akustisch an die umgebende Luft angepaßt werden. Zu diesem Zweck werden Schallwände oder Gehäuse verwendet. Ein dynamischer Lautsprecher kann z. B. ohne die erwähnten Hilfsmittel keine tiefen Töne abstrahlen. Begriffsbestimmungen:

*Baß-Reflex-Gehäuse* (Baß-Reflex-Box), bestimmte Gehäuseform zur Verbesserung der Tiefenabstrahlung. Das Gehäuse ist mit einer Öffnung versehen, die nach den Gehäuse-Resonanz-Verhältnissen bemessen ist. Auf diese Weise werden auch die von der Rückseite der Membran abgegebenen Schallschwingungen ausgenutzt. Die erwähnte Öffnung bewirkt eine Vergrößerung der abgegebenen Schalleistung, weil die rückwärts austretenden Schallwellen in gleicher Phase mit den Schall-

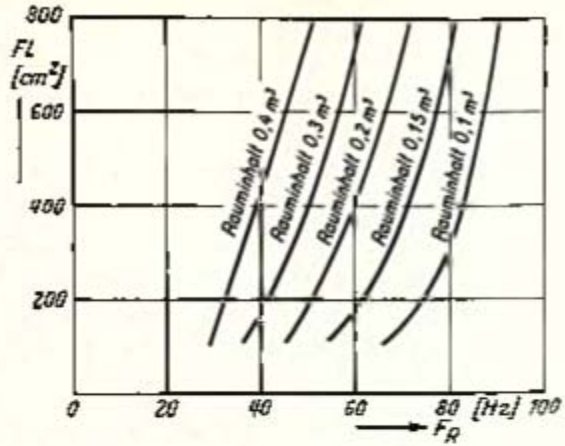



Bild 40. Günstigste Öffnung eines Baß-Reflex-Gehäuses in Abhängigkeit von Resonanzfrequenz und Rauminhalt. Fl = Fläche der Öffnung (in cm²), $F_R$ = Resonanzfrequenz des Membransystems (in Hz)

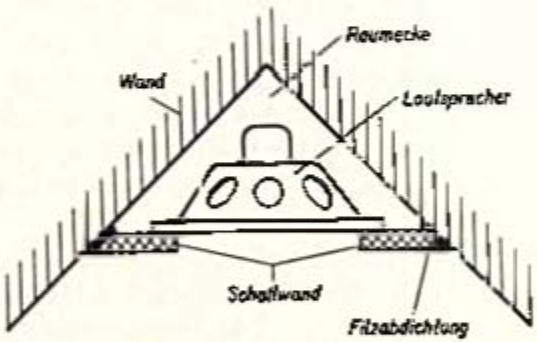



Bild 41. Anordnung eines Eckenlautsprechers

wellen der Vorderseite abgestrahlt werden und sich daher addieren. In Wirklichkeit bildet das B. einen Resonator, dessen Eigenfrequenz auf die Resonanzfrequenz des verwendeten Lautsprechers abgestimmt ist. Durch diese Resonanzbedingungen werden alle Töne, die in der Nähe der Eigenfrequenz liegen, verstärkt wiedergegeben.

**Bild 40** zeigt das Verhältnis günstigster Abmessungen der Öffnung in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz und dem Rauminhalt.

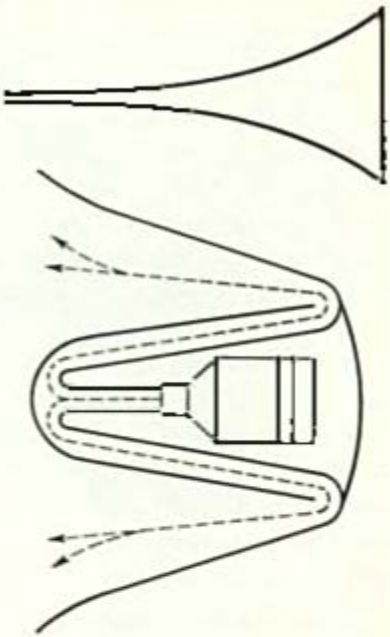


Bild 42. Schnitt durch einen Exponentialtrichter

Bild 43. Falt-Trichter (Philips) schematisch. Antrieb: Druckkammersystem

*Eckenlautsprecher* sind Gehäuselautsprecher, bei denen die Ecke eines Raumes mit ausgenutzt wird (**Bild 41**).

*Exponentialgehäuse.* Zur Erhöhung des Strahlungswiderstandes werden Trichteranordnungen benutzt, deren Querschnitt sich nach einer Exponentialfunktion quadratisch oder kubisch vergrößert (**Bild 42**). (Es gibt auch Ausführungen mit hyperbolisch-exponentiell wachsendem Querschnitt). Ein derartiges Horn – wie man einen solchen Trichter auch bezeichnen kann – müßte theoretisch unendlich lang sein. In der Praxis ist das selbstverständlich nicht durchführbar. Daher begnügt man sich mit einer Länge, die durch den Durchmesser bestimmt ist, der gleich 1/3 der Wellenlänge der tiefsten zu übertragenden Frequenz ist. Außerdem besteht noch die Möglichkeit, das Horn zu falten. Eine solche Ausführung nennt man *Falthorn* oder *Falttrichter*. Bei Druckkammerlautsprechern bedient man sich dieser Methode, um die Abmessungen des erforderlichen Trichters in vertretbaren Grenzen zu halten. **Bild 43** zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Konstruktion.

Auch bei Gehäuselautsprechern kann man dieses Prinzip anwenden. Dabei macht man von der Möglichkeit Gebrauch, die

relativ große erforderliche Länge des Horns durch Falten in einem verhältnismäßig kleinen Gehäuse unterzubringen. Falthorn-Gehäuse sind aus mehreren Kammern aufgebaut, deren Querschnitt in Richtung des Schallaustritts entsprechend einer Exponentialfunktion vergrößert wird. Bei einer solchen Anordnung kann das eigentliche Horn sowohl vor, als auch hinter der Lautsprechermembran liegen. Auf Grund des sich ergebenden hohen Strahlungswiderstandes wird die Resonanzfrequenz des Lautsprechersystems sehr stark bedämpft und ist daher praktisch nicht mehr wirksam.

Beispiel: Ein Lautsprecher mit einer Eigenresonanz zwischen 50 und 60 Hz kann noch bis zu einer Grenzfrequenz von 25 bis 30 Hz tiefe Töne abstrahlen. Ein- und Ausschwingvorgänge der Lautsprechermembran werden durch den erwähnten hohen Strahlungswiderstand wirksam unterdrückt, daher ist die Wiedergabe bemerkenswert verzerrungsarm und natürlich. Nachteile dieser Bauart sind die relativ großen Gehäuseabmessungen.

*Geschlossene Gehäuse.* In den letzten Jahren haben die geschlossenen Gehäuse, auch Boxen genannt, in steigendem Maße an Beliebtheit gewonnen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Bauart sind die vergleichsweise geringen Gehäuseabmessungen, die es ermöglichen, auch in einem Bücherregal eine solche Box unterzubringen. Man spricht daher in diesem Zusammenhang von *Regal*boxen.

Arbeitsweise: Bis auf die Lautsprecheröffnung ist dieses Gehäuse völlig geschlossen. Nachdem unter diesen Bedingungen kein akustischer Kurzschluß zustande kommen kann, verhält sich eine solche Anordnung wie eine unendlich große Schallwand. Es macht sich jedoch ein unerwünschter Effekt bemerkbar: Bewegungen der Lautsprechermembran in beiden Richtungen verdichten oder verdünnen das eingeschlossene Luftvolumen, wodurch die Resonanzfrequenz des Lautsprechers erhöht wird. Außerdem muß noch ein weiterer Umstand Berücksichtigung finden: nämlich Unterdrückung der Eigenschwingungen der Luft innerhalb des Gehäusehohlraumes. Stehende Wellen zwischen gegenüberliegenden Wänden, Reflexionen und Interferenzen sind die Folge. Daher wird ein solches allseitig geschlossenes Gehäuse mit schallschluckenden Materia-

Bild 44. Beispiel für die Kombination mehrerer Lautsprecher in einer geschlossenen Box (vordere Bespannung abgenommen; Grundig)

lien ausgefüllt (z. B. Glasfaserplatten oder Steinwolle). Bei größeren Gehäusen findet man auch Aufteilungen in mehrere labyrinthartig angeordnete Kammern, die jeweils mit schallschluckenden Materialien gefüllt sind.

In einem mit schallabsorbierenden Stoffen gefüllten Gehäuse wird die Schallenergie, verursacht durch die erwähnten stehenden Wellen zwischen den Gehäusewänden, in Wärme umgesetzt. Anstelle einer Füllung mit schallschluckenden Materialien wird vielfach auch eine andere Methode angewandt: Im Inneren des Gehäuses sind auf einem Lattenrahmen Platten angebracht, so daß mit der Gehäusewand Zwischenräume entstehen, die als Luftkissen wirken. Durch Resonanzwirkung der Masse der Platten mit der Steife des Luftkissens wird die gewünschte Absorption erzielt. Da die Platten aus schallschluckenden Materialien bestehen, tritt in einem Teilbereich außerdem noch normale Absorption auf.

Bild 45.
Kompaktbox (Heco)

Es gibt sehr viele Gesichtspunkte für die Konstruktion geschlossener Gehäuse. Auf Einzelheiten muß jedoch in diesem Zusammenhang verzichtet werden, weil deren ausführliche Behandlung den Rahmen dieses Taschenlexikons sprengen würde.

Vielfach werden ganze Lautsprechergruppen in geschlossene Gehäuse eingebaut. **Bild 44** zeigt ein Ausführungsbeispiel. In jüngster Zeit geht jedoch der Entwicklungstrend dahin, lediglich ein oder mehrere Tieftonsysteme in allseitig geschlossene Gehäuse einzubauen. Für diesen Zweck benutzt man Spezialsysteme, die eigens für diese Gehäuseart konstruiert sind. Hoch- und Mitteltöner werden separat im Wiedergaberaum aufgestellt, um ein möglichst diffuses Klangbild zu erzielen.

*Kompaktlautsprecher* (Kompakt-Boxen). Kombination von zwei oder mehreren Lautsprechern in einem Gehäuse mit kleinen Abmessungen (Prinzip des geschlossenen Gehäuses). **Bild 45** zeigt einen solchen Kompakt-Lautsprecher.

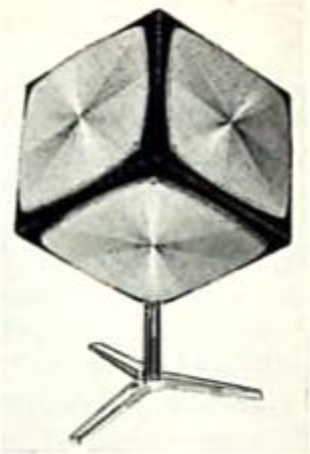


Bild 46.
Kugelstrahler (Grundig)

*Kugellautsprecher.* Wie bereits unter diesem Stichwort beschrieben, handelt es sich um eine Lautsprecheranordnung zur Erzielung eines diffusen Klangbildes. **Bild 46** zeigt eine Ausführung dieser Bauart in Würfelform mit sechs Einzellautsprechern. Es sei noch erwähnt, daß auch kugelförmige Gehäuse dieser Bauart auf dem Markt sind.

*Offenes Gehäuse.* Wie die Bezeichnung schon andeutet, handelt es sich um Gehäuse ohne Rückwand. Dieser Bauart kommt in der HiFi-Technik kaum Bedeutung zu, weil die Strahlungsdämpfung und somit der Wirkungsgrad schlecht sind, Ein- und Ausschwingvorgänge werden nicht unterdrückt. Hauptanwendungsgebiet: Fernseh- und Rundfunkempfänger.

*Reflextrichter,* nicht ganz korrekte Bezeichnung für Exponentialtrichter.

*Rundstrahler.* a) Anderer Ausdruck für Kugelstrahler. b) Anordnung mehrerer Lautsprecher für allseitige Schallabstrahlung, besonders für Betrieb im Freien entwickelt.

*Schallwand.* Zur Vermeidung gegenseitiger Auslöschung der von Vor- und Rückseite einer Lautsprechermembran abgestrahlten Schallwellen (akustischer Kurzschluß) wird das Lautsprechersystem auf einer Schallwand montiert. Sollten gute Abstrahlverhältnisse für tiefe Töne erreicht werden, so muß der Durchmesser der Schallwand gleich der halben Wellenlänge der niedrigsten wiederzugebenden Frequenz sein. Wenn bei-

Bild 47. Strahlergruppe oder Schallzeile

spielsweise eine Frequenz von 150 Hz noch gut abgestrahlt werden soll, so muß der Schallwanddurchmesser mindestens etwa 1 m betragen (bzw. muß die kleinste Entfernung vom Lautsprecher bis zur Kante einer quadratischen oder rechteckigen Schallwand mindestens 50 cm betragen). Weiterhin wird das Abstrahlverhalten eines auf diese Art und Weise installierten Lautsprechers auch von der Anordnung der Schallöffnung auf der Fläche beeinflußt (exzentrisch, vorteilhafter als zentrisch). Die Schallwand darf nicht vibrieren, daher ist eine genügende Materialstärke erforderlich. Befestigung des Lautsprechers mit Zwischenlagen von Filz- oder Schaumgummistreifen.

*Schallzeilen*, siehe Strahlergruppen.

*Strahlergruppen* (Gruppenstrahler, Schallzeilen). Bei Lautsprecheranordnungen größerer Leistung ist es vorteilhaft, für diesen Zweck mehrere kleinere Systeme zu verwenden. Mit anderen Worten, die abzustrahlende Leistung wird auf mehrere Systeme verteilt. Die Entwicklung hat zu den „geraden" Strahlergruppen geführt (die Lautsprecher befinden sich in gerader Linie übereinander, **Bild 47**). Bei senkrechtstehenden Strahlergruppen erfolgt auch eine Bündelung in senkrechter Richtung, die Ausbreitung in seitlicher Richtung ist dabei relativ gering. Mittels dieser Bauart können auch hallige Räume zentral beschallt werden. Bedingt durch die vorzüglichen Richteigenschaften läßt sich die akustische Rückkopplung leichter vermeiden (Aufstellung des Mikrofons im toten Winkel).

Strahlergruppen werden unter anderem in sogenannten Tonsäulen oder Schallsäulen verwendet; letztere fassen mehrere Strahlergruppen zusammen.

*Tonsäulen* sind für Aufstellung im Freien bestimmte Strahlergruppen, deren Schallzeilen nach mehreren Richtungen hin an einer Säule angeordnet sind.

*Trichterlautsprecher*, siehe unter Exponentialtrichter.

**Lautstärke.** Die Lautstärke ist ein Maß für die vom menschlichen Ohr empfundene Stärke des Schalls; es ist also ein dem Ohr angepaßtes Maß. Die empfundene Lautstärke steigt annähernd mit dem Logarithmus der tatsächlich vorhandenen Schallintensität. Die Einheit der Lautstärke ist das Phon. Als Normalschall dient bei der Messung eine ebene, in der Luft fortschreitende sinusförmige Welle der Frequenz 1000 Hz, die von vorn auf den Kopf des Beobachters trifft (beidohriges Abhören). Die Lautstärkeskala beginnt mit 0 Phon und endet bei 130 Phon (oberer Schallwert, Schmerzwelle).

Wenn der Schalldruck $p$ bekannt ist, dann kann die Lautstärke $L$ nach folgender Formel errechnet werden

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

$p$ = Schalldruck in Mikrobar
$p_0$ = Schalldruck des Schwellwertes = 0,0002 Mikrobar

Ist die Intensität des Schalls gegeben, dann errechnet sich die Lautstärke nach folgender Formel

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$I$ = Intensität des Schalls in W/cm²
$I_0$ = Intensität des Schwellwertes = $1 \cdot 10^{-16}$ W/cm²

Es wurde international festgelegt, daß einem Ton von 1000 Hz bei einem Schalldruck von 2 Mikrobar (= 2 dyn/cm²) eine Lautstärke von 80 Phon entspricht (dann gilt Schwellwert der Intensität $I_0 = 10^{-16}$ W/cm² und Schwellwert des Schalldrucks $p_0 = 0{,}0002$ dyn/cm²).

Die Schmerzwelle mit 130 Phon wäre sehr schnell erreicht, wenn sich die Lautstärken mehrerer gleichzeitig wirkender Schallquellen einfach summieren würden. Das ist nicht der Fall. So ergeben 10 Schallquellen von je 12 Phon nicht eine Lautstärke von 120, vielmehr von 12 + 10, d. h. von 22 Phon. Zehn Schallquellen zu je 1 Phon addieren sich: 1 + 10 = 11 Phon. Das Zusammenwirken von Schallerzeugern geringer Lautstärken macht mithin relativ viel aus. Andererseits ergeben die

| Phon | Art des Geräusches (nur als Anhalt) | Schalldruck in Mikrobar |
|---|---|---|
| 0 | Hörschwelle (Reizschwelle) | $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ |
| 10 | Flüstern in einer Entfernung von 1,25 m, Blättersäuseln bei leichtem Wind | $6{,}4 \cdot 10^{-4}$ |
| 20 | Feiner Landregen, Geräusch in ruhigem Garten, in sehr ruhiger Wohnung, Uhrticken | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| 30 | Nahes Flüstern, Geräusch in Vorstadtstraße abends | $6{,}4 \cdot 10^{-3}$ |
| 40 | Zerreißen von Papier, ruhige Unterhaltungssprache, Tageslärm in Vorortgegend, leiser Rundfunkempfang | $2 \cdot 10^{-2}$ |
| 50 | Straßenlärm mittlerer Stärke, Geräusche in großen Geschäftsräumen, mittlere Lautsprecher-Wiedergabe | $6{,}4 \cdot 10^{-2}$ |
| 60 | Staubsauger, verkehrsreiche Straße, einzelne Schreibmaschine, angeregte Unterhaltung, Fahrgeräusch in einem Eisenbahnwagen, laute Lautsprecher-Wiedergabe (Zimmer), Bürolärm bei geschlossenem Fenster | $2 \cdot 10^{-1}$ |
| 70 | Schreibmaschinensaal, Lärm in größerem Bierlokal, Straßenbahn auf gerader Strecke, leise Autohupe | $6{,}4 \cdot 10^{-1}$ |
| 80 | Schreien, lautes Rufen, Donnerrollen, Untergrundbahn, starker Straßenverkehr, laute Fabriksäle | 2 |
| 90 | Preßluftbohrer, laute Hupe, Lokomotivpfiff | 6,4 |
| 100 | Nieten, Kesselschmiede, Motorradgeknatter, Löwengebrüll | $2 \cdot 10$ |
| 110 | Lärm in Flugzeugkabinen, Blechschmiede mit Preßlufthammer | $6{,}4 \cdot 10$ |
| 120 | Flugzeugmotor in 3 bis 4 m Entfernung | $2 \cdot 10^{2}$ |
| 130 | Schmerzschwelle (schmerzender Lärm) | $6{,}4 \cdot 10^{2}$ |

(Schalldruck auf 1 kHz bezogen: 1 Mikrobar = 1 dyn/cm²)

Geräusche zweier Motorräder zu je 90 Phon in ihrem Zusammenwirken 93 Phon. 10 Motorräder mit je 90 Phon machen nur 100 Phon Lärm (siehe auch Physiologische Akustik).

Die Tabelle auf Seite 76 gibt eine Übersicht über das Verhältnis Phon/Schalldruck.

**Lautstärke-Regelung.** Bei Verstärkern besteht in allen Fällen der Wunsch nach Anpassung der Wiedergabelautstärke an die Gegebenheiten des Wiedergaberaumes. Daher sind alle Verstärker — wie auch Radiogeräte — mit einem *Lautstärkeeinsteller* ausgestattet. Von Sonderfällen abgesehen, handelt es sich bei derartigen Vorrichtungen zur Regelung der Lautstärke immer um eine Spannungsteilerschaltung für das Nf-Signal, gleichgültig ob der betreffende Verstärker mit Transistoren oder mit Röhren aufgebaut ist. **Bild 48a** zeigt das Schema eines solchen Spannungsteilers, wobei noch zu erwähnen wäre, daß der am Abgriff des Potentiometers befindliche Kondensator bei Röhrenschaltungen nicht in allen Fällen erforderlich ist.

Einfache Schaltungen dieser Art haben zwei gravierende Nachteile, die nicht durch die technischen Gegebenheiten verursacht werden, sondern durch die Eigenschaften des menschlichen Ohres:

1. Eine Herabsetzung der Nf-Spannung auf die Hälfte des vorher eingestellten Wertes wird vom Ohr nicht als die „halbe" Lautstärke empfunden.

2. Bei verringerter Lautstärke entsteht ein unnatürlicher Höreindruck, wobei tiefere Frequenzen unterdrückt erscheinen. Bei noch weiterer Herabsetzung der Wiedergabelautstärke im Raum scheinen auch die Höhen zu fehlen.

Nachdem die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres einer logarithmischen Kurve ähnelt, kann man die erstgenannte Erscheinung durch die Verwendung eines Potentiometers mit logarithmischer Regelkurve kompensieren. Das bedeutet: am masseseitigen Ende der Schleifbahn (kleine Lautstärke) ergeben gleiche Drehwinkeländerungen nur geringe Widerstandsänderungen. Die Widerstandszunahme steigt nach einer logarithmischen Kurve an. Steht z. B. der Schleifer in der Mitte

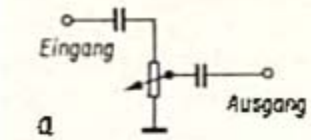



Bild 48a.
Lautstärkeregelung,
Prinzipschaltung

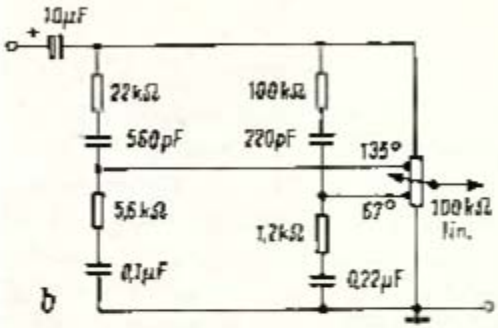



Bild 48b.
Lautstärkesteller
mit „gehörrichtiger"
Entzerrung

der Schleifbahn, so ist zwischen Schleifer und Masse erst ein Widerstand von 10 % des Gesamtwertes wirksam.

Der zweite unerwünschte Effekt wird durch eine frequenzabhängige Lautstärkeregelung unwirksam gemacht. Dazu werden die Potentiometer mit einer oder mehreren Anzapfungen versehen, die über RC-Glieder mit dem Schaltungsnullpunkt verbunden sind. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß die Bässe — und nicht ganz so weitgehend auch die Höhen — bei Schleiferstellungen des Potentiometers in der unteren Hälfte, bzw. des unteren Drittels der Schleifbahn, angehoben werden.

Bei Stereoverstärkern müssen — aus verständlichen Gründen — die Regelkurven beider Lautstärkesteller völlig identisch sein. Es genügt nicht, beide Potentiometer auf einer Achse zu montieren. Betätigen des Lautstärkestellers muß für beide Kanäle gleiche Widerstandsänderung — und somit gleiche Spannungsänderung — ergeben. Selbst unter Anwendung moderner Fabrikationsmethoden ist es recht schwierig, den geforderten Gleichlauf zu erreichen. Daher verwendet man für diesen Zweck meist Potentiometer mit linearer Regelkurve, die billiger herzustellen sind (Bei einem Potentiometer mit linearer Regelkurve beträgt z. B. bei Mittelstellung der Widerstand exakt die Hälfte des Gesamtwiderstandes). Nachdem aber noch die Forderung nach einem logarithmischen Verlauf der Regel-

kurve besteht, werden die benutzten linearen Potentiometer mit zwei oder mehreren Anzapfungen versehen, die über Widerstände mit dem Schaltungsnullpunkt verbunden werden. Durch diese Maßnahme wird der gewünschte Kurvenverlauf erzielt. Häufig ist es auch möglich, durch Beschaltung der Anzapfungen mit RC-Gliedern, gleichzeitig eine gehörrichtige Regelkurve zu erhalten, die übrigens auch als *physiologische Kurve* bezeichnet wird. **Bild 48b** zeigt eine solche Ausführung für einen Stereoverstärker (es ist nur ein Kanal dargestellt). Man erkennt zwei Abgriffe, die bei 67° und 135° liegen. Die aus dem Prinzipschaltbild ersichtliche Dimensionierung der RC-Glieder bewirkt die erwünschte frequenzabhängige Lautstärkeregelung mit logarithmischem Verlauf der Regelkurve.

*Lautstärkeregelung bei Lautsprechern*, siehe unter Lautsprecher.

**LC-Siebkette** (LC-Paß, LC-Glied), Vierpole bestehend aus Induktivität (Drossel) und Kapazität (Kondensator). Siehe unter Netzwerke.

**Leistungsbandbreite**, Begriff aus der Verstärkertechnik. Definition: Frequenzbereich, innerhalb dessen bei Klirrfaktorsollwert die Leistung an den Bereichsenden um 3 dB sinkt.

**Lichtton.** Grundsätzlich: Tonfrequenz wird in entsprechende Lichtschwankungen umgesetzt, die ihrerseits die lichtempfindliche Schicht eines mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorbeigezogenen Films beeinflussen (fotografierter Ton). Das Licht fällt durch einen schmalen Spalt von 2,3 mm Länge und 15 µm Breite auf den Film und belichtet ihn mehr oder weniger.

Es gibt eine Reihe verschiedener Verfahren. Bei dem *Intensitätsverfahren* ändert sich die Lichtintensität des gesamten Spaltbildes. Auf dem Film entstehen parallele Streifen gleicher Breite, aber verschiedener Schwärzung. — Bei dem *Longitudinal*-Verfahren bleibt die Lichtintensität konstant, ebenso die Spaltlänge, geändert wird die Spaltbreite. Auf dem Film entsteht *Sprossenschrift* (**Bild 49**). Beim *Transversalverfahren* bleiben Lichtintensität und Spaltbreite konstant, geändert wird die Spaltlänge. Es entsteht *Zackenschrift* (**Bild 50**). Die Auf-

Bild 49. Sprossenschrift

Bild 50. Einzackenschrift

Bild 51. Mehrzackenschrift

zeichnung kann auch derart erfolgen, daß Mehrzackenschrift entsteht (**Bild 51**).

Zur Erzeugung der Intensitätsschrift ist eine Lichtquelle erforderlich, die eine den tonfrequenten Schwankungen proportionale Steuerung des Lichtstromes ermöglicht. Man verwendet entweder Gasentladungslampen, Kerrzellen oder mechanische Lichtschleusen. Das Prinzip zeigt **Bild 52**. – Während die Gas-

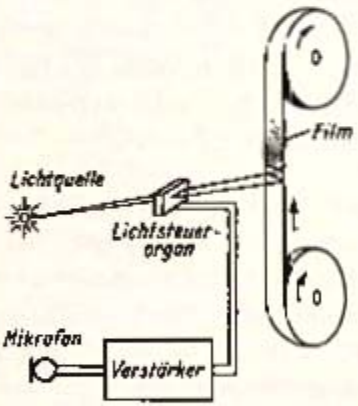



Bild 52. Schema der Filmbelichtung beim Intensitätsverfahren

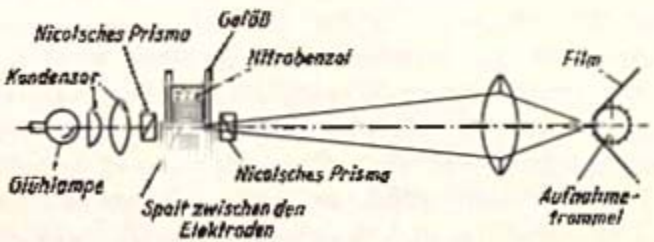



Bild 53. Anordnung einer Kerrzellen-Ton-Optik (schematisch)

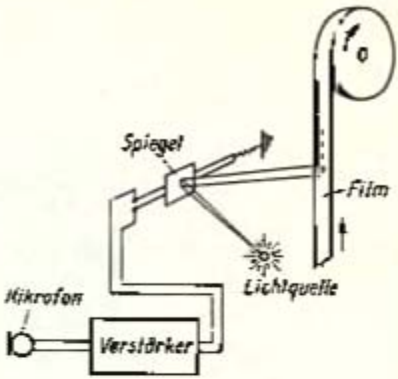



Bild 54. Schema des Oszillografensystems für das Longitudinal- und Transversal-Verfahren

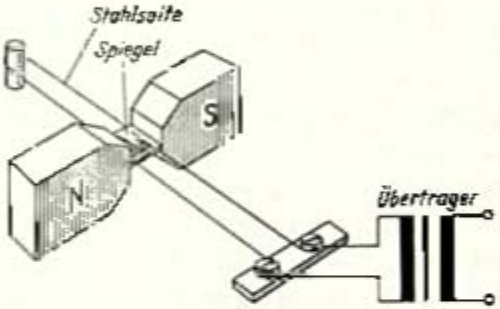



Bild 55. Schema eines dynamischen Lichthahns

entladungslampen selbst Lichtquellen sind, kann man die Kerrzelle als Lichtrelais ansehen: unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes wirkt Nitrobenzol doppelbrechend (ein elektrooptischer Effekt, den auch einige Kristalle zeigen). **Bild 53** läßt die Anordnung erkennen. Der Lichtstrahl geht vor und hinter der Zelle durch ein Nicolsches Polarisationsprisma Da diese Prismen gekreuzt sind, gelangt der Lichtstrahl nicht durch die Anordnung hindurch. Erst beim Anlegen einer Spannung an die Elektroden der Kerrzelle tritt mit zunehmender Doppelbrechung eine Aufhellung ein.

Longitudinal- und Transversal-Verfahren (Amplitudenschrift) benutzen u. a. ein Oszillografensystem, das in der Tonfilmtechnik mit „Lichthahn" bezeichnet wird. Das Prinzip zeigt **Bild 54**. Man unterscheidet den „dynamischen" Lichthahn (**Bild 55**) und den „magnetischen Lichthahn (**Bild 56**).

Für die Wiedergabe ist es gleichgültig, welches Verfahren bei der Aufnahme zur Verwendung kam. Eine Fotozelle setzt die

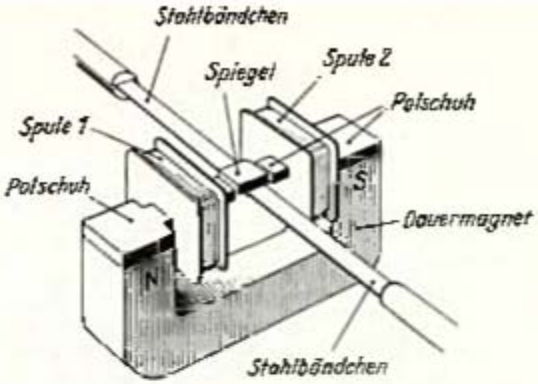



Bild 56. Prinzip des magnetischen Lichthahns

Lichtschwankungen, die sie bei der Durchleuchtung des Films erhält, in elektrische Stromschwankungen um, die über einen Verstärker dem Lautsprecher zugeführt werden.

**Lineare Verzerrungen.** Ein Verstärker verursacht lineare Verzerrungen, wenn seine Verstärkung frequenzabhängig ist (Abfallen der Tiefen oder Höhen bei der Verstärkung). Im Gegensatz zu den nichtlinearen Verzerrungen findet keine Änderung der ursprünglichen Kurvenform statt: es entstehen keine neuen, d. h. keine zusätzlichen Tonfrequenzen.

**Logatome** siehe unter Physiologische Akustik.

**Longitudinal-Wellen** siehe unter Schall.

# M

**Magnetton,** Verfahren zur Schallaufzeichnung auf magnetisierbaren Bändern: Filmband bzw. Kunststoffolie mit magnetisierbarer Schicht (siehe Magnettongeräte), Stahlband oder Stahldraht (nicht mehr gebräuchlich) und magnetisierbare Platten (Diktiergeräte).

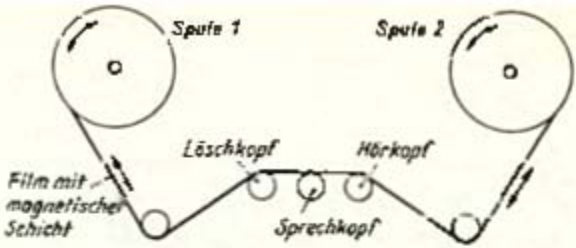



Bild 57. Schema eines Magnetbandgerätes

**Magnettongeräte** (Magnetbandgeräte, Tonbandgeräte). Wegen der Vielfalt der zu erläuternden Begriffe sind diese im folgenden alphabetisch geordnet angegeben:

*Allgemeines*: Ein magnetisierbares Band (Tonband, siehe dieses) wird am Luftspalt eines Elektromagneten (Sprechkopf, Aufsprechkopf, Aufnahmekopf) mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorbeigezogen (**Bild 57**). Wird die Sprechkopfspule mit tonfrequentem Strom beschickt, so werden die entsprechenden Magnetisierungsschwankungen im Kern durch die Streuung der Feldlinien am Luftspalt auf die magnetisierbaren Teilchen des Randes übertragen, die sich dabei umlagern.

Mit einem zweiten „Kopf", dem *Hörkopf* oder *Wiedergabekopf*, werden die in magnetischer Form auf dem Tonband enthaltenen tonfrequenten Aufzeichnungen abgenommen: Während das Band am Kern-Luftspalt des Wiedergabekopfes vorbeigezogen wird, werden in den Windungen des Wiedergabekopf-Elektromagneten (einer dem Sprechkopf gleichartigen Einrichtung) den Magnetisierungsverhältnissen entsprechende Spannungen induziert.

Mit einem weiteren Kopf, dem *Löschkopf*, kann die tonfrequente Magnetisierung aufgehoben werden. Zu diesem Zweck wird die Spule des Löschkopfes mit einer Hochfrequenz-Spannung beschickt. Dabei werden die Bandschicht-(Kleinst-) Teilchen mehrfach ummagnetisiert, so daß die vorhandene Aufnahme gelöscht wird. In früheren Jahren wurden auch Löschköpfe verwendet, die mit Gleichstrom gespeist wurden. Die Verwendung hochfrequenter Wechselströme ist jedoch für diesen Zweck in allen Fällen vorzuziehen, weil geringes Störgeräusch nur auf diese Weise erzielbar ist. Daher wird bei

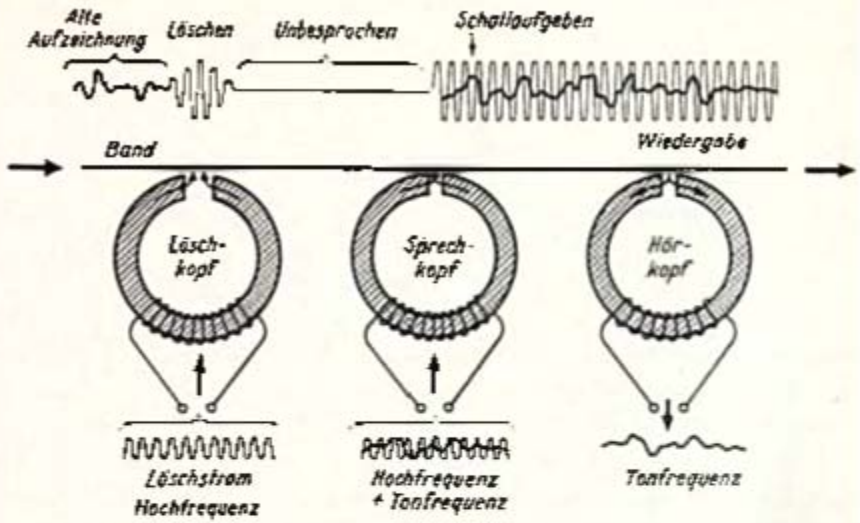



Bild 58. Magnetisierungsvorgänge beim Magnettonverfahren

modernen Geräten Gleichstromlöschung im allgemeinen nicht mehr angewandt. Diktiergeräte bilden allerdings in dieser Hinsicht eine Ausnahme, nachdem bei dieser Geräteart Störgeräusch, oder ähnliche Gesichtspunkte, keine große Rolle spielen.

Es gibt auch einfache Ausführungen ohne eigentlichen Löschkopf. Zur Löschung wird ein schwenkbar eingebauter Permanentmagnet benutzt, der diesem Zweck vollauf genügt.

Andere Verfahren, insbesondere solche für Diktierzwecke, verwenden eine mit Rillen versehene magnetisierbare Platte (ähnlich einer Schallplatte). Der Sprechkopf ist am Ende eines schwenkbaren Armes wie ein Tonabnehmer angebracht, er ist gleichzeitig Hörkopf. – Die Platte besteht aus einem unmagnetischen Träger, auf den beiderseitig mit Eisenoxydpulver präparierte Folien von 0,1 mm Stärke aufgepreßt sind. In das Material eingepreßte Rillen führen den Sprechkopf während des Betriebes. – Ein Löschmagnet ist besonders angebracht (Beispiel: Dimafon).

Wie oben erläutert, werden bei modernen Magnettonverfahren zur Löschung hochfrequente Ströme benutzt. In **Bild 58** sind die Magnetisierungsvorgänge schematisch dargestellt. Man

erkennt die Funktion von Hör-, Lösch- und Sprechkopf. Bei Heimtonbandgeräten verwendet man häufig nur einen Kopf, der als Hör- oder Sprechkopf geschaltet wird. Für Studio- und Heimstudiogeräte wird jedoch in allen Fällen die Anordnung separater Köpfe beibehalten.

Zur Speisung des Löschkopfes sind Magnettongeräte mit einem Oszillator ausgestattet, der die benötigte Hf-Spannung liefert. Dieser Oszillator erfüllt noch eine zweite Funktion: Ein kleiner Teil der Hf-Spannung wird, gleichzeitig mit dem tonfrequenten Signal, dem Sprechkopf zugeführt. Dieses Verfahren nennt man *Vormagnetisierung*. Wie aus Bild 58 ersichtlich, durchläuft das Tonband in der Reihenfolge Löschkopf, Sprechkopf die Anordnung. Mit anderen Worten, vor Erreichen des Sprechkopfes ist der betreffende Bandteil gelöscht. Durch die Vormagnetisierungsspannung wird jedoch das Tonband in einer Weise moduliert, die – mit gewissen Einschränkungen – einem AM-Modulationsverfahren ähnelt. Anders ausgedrückt: Die dem Sprechkopf zugeführte tonfrequente Wechselspannung moduliert die hochfrequente Spannung. Dieses Verfahren wurde von der AEG entwickelt und bildet die Voraussetzung für das vorzügliche Geräusch-/Nutzspannungsverhältnis moderner Magnettongeräte, das von keinem anderen bekannten Schallaufzeichnungsverfahren erreicht wird.

Die Höhe der Lösch- bzw. Vormagnetisierungsfrequenz wird unter bestimmten Voraussetzungen gewählt (Mindestfrequenz oberhalb des Hörbereichs, Vermeidung von Interferenztonbildung mit dem Pilotton des Stereorundfunks usw.). Werte zwischen 35 und 120 kHz sind gebräuchlich.

Begriffserklärungen:

*Aufnahmekopf* (Sprechkopf, Aufsprechkopf). Ringmagnet (Elektromagnet), der für die verschiedenen Verfahren (Einspur-, Zweispur-, Vierspurverfahren (siehe diese) besonders gestaltet wird, damit entweder die ganze oder nur die halbe Bandbreite bzw. nur ein Viertel der Bandbreite beeinflußt wird. Gegebenenfalls werden gleichzeitig zwei Spuren beschriftet (Stereofonische Aufnahme bzw. Trickaufnahme).

*Aufsprech- und Wiedergabeverstärker*. Entzerrerverstärker für Aufnahme und Wiedergabe. Bei einfachen Heimtonband-

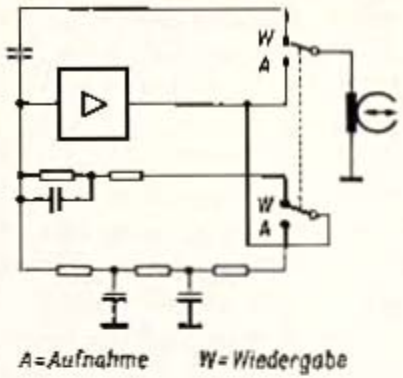



Bild 59. Blockschaltbild eines Aufsprech/ Wiedergabeverstärkers

geräten wird diese Aufgabe vielfach von einem Verstärker übernommen, der umgeschaltet wird, entsprechend der gewählten Betriebsart. **Bild 59** zeigt ein Blockschaltbild für eine solche Ausführung. Wie aus ihm hervorgeht, ist – neben dem Hör-/ Sprechkopf – auch das Gegenkopplungsnetzwerk zur Entzerrung für Aufnahme und Wiedergabe umschaltbar.

Bei Heimstudiogeräten werden hingegen getrennte Verstärker verwendet. **Bild 60** zeigt ein Blockschaltbild, typisch für diese Bauart (Revox A 77). Es handelt sich um ein Stereogerät mit Vor-Hinterband-Schalter und Kanalwahlschalter mit den Betriebsarten: Stereo, CH I = linker Kanal, CH II = rechter Kanal und Mono. In der letztgenannten Betriebsart werden Wiedergabe- bzw. Leitungs- oder Endverstärker mit den Eingängen parallelgeschaltet.

*Aussteuerung.* Höhe der tonfrequenten Spannung, die dem Sprechkopf zugeführt wird. Die Anzeige erfolgt mittels entsprechend geeichter Instrumente, oder auch mittels elektronisch/optischer Anzeige („magischer Strich"). Der optimale Wert für die A. wird vom Gerätehersteller angegeben bzw. eingestellt und ist immer von der verwendeten Bandsorte abhängig.

*Automatikgerät.* Bezeichnung für ein Magnettongerät mit vereinfachter Bedienung. Der Aufsprechpegel wird mittels einer automatischen Regelschaltung auf den erforderlichen Wert gebracht.

*Banddehnung* ruft eine Verfälschung der Wiedergabe hervor. Sie wird durch schädliche (stärkere) Wärmeeinwirkungen aus-

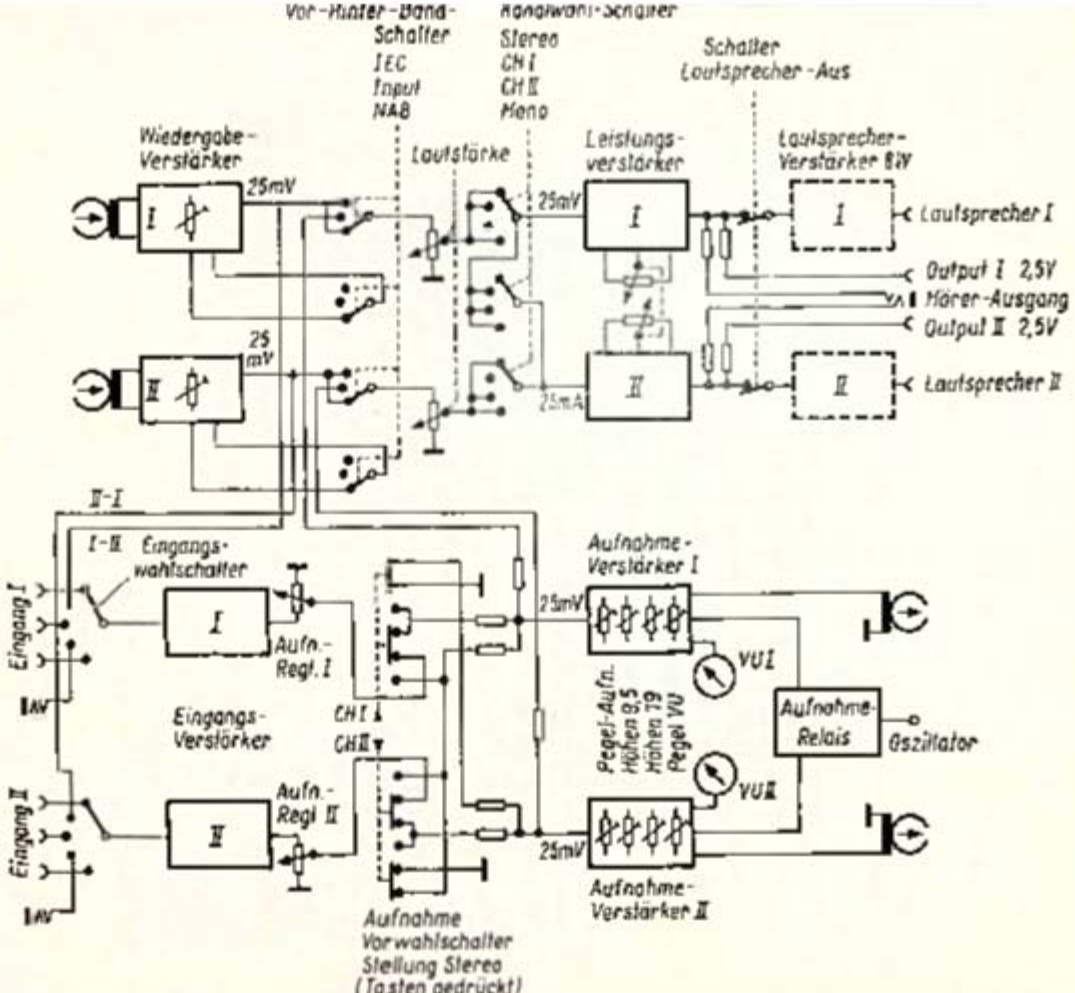



Bild 60.
Blockschaltbild eines Heimstudiogerätes [Revox A 77]

gelöst und kann ebenso bei der Aufnahme bzw. bei der Wiedergabe durch ungeeignete Magnettongeräte, bei denen ein zu starker Zug die Bänder beansprucht, verursacht werden.

*Bandfluß.* Menge der im Tonband vorhandenen magnetischen Feldlinien.

*Bandgeschwindigkeit* (Laufgeschwindigkeit): 76,2 cm/sec, 38,1 cm/sec, 19,5 cm/sec, 9,53 cm/sec, 4,76 cm/sec, 2,36 cm/sec. Ursprünglich wurde vom Maß 30 Zoll/sec ausgegangen: entsprechend 76,2 cm/sec, die weiteren Werte ergeben sich durch jedesmaliges Halbieren, daher die Dezimalstellen bei Angabe in cm/sec. Die Bandgeschwindigkeit 76,2 wird nur in Sonderfällen angewandt; 38,1 cm/sec (38) kommt für Studiogeräte in Betracht; 19,5 cm/sec (19) genügt hohen Ansprüchen (Studio-Heimgeräte); 9,53 cm/sec (9,5) kommt für gute Heimgeräte in Betracht; 4,75 cm/sec reicht für normale Heimgeräte aus; 2,36 cm/sec (2,4) ist für Diktiergeräte bestimmt (siehe DIN 45 511).

*Bezugsband.* Tonband nach DIN 45 513 für Meßzwecke. Ein Bezugsband ist in vier Abschnitte aufgeteilt: 1. Pegelton, 2. Aufzeichnung zum Einstellen des Spaltes, 3. Frequenzgang, 4. Leerteil. Letzteres wird für Messungen an Aufsprechverstärkern, an Sprech- und Löschköpfen und zum Vergleich mit Eigenschaften anderer Tonbänder (Normalband) verwendet.

*Blockingeffekt.* Sehr glatte (aufgewickelte) Bänder neigen dazu, auf der unter ihnen liegenden Bandschicht fest zu haften. Bei Geräten mit schwachem Motor kann der Bandablauf dadurch blockiert werden, besonders bei längerer Lagerung, hoher Temperatur oder Luftfeuchtigkeit.

*Cassetten-Tonbandgerät, Cassetten-Recorder.* Bestimmte Bauform eines Tonbandgerätes, gekennzeichnet durch einen allseitig geschlossenen Behälter, der Tonband mit Auf- bzw. Abwickelvorrichtung enthält. Dieser Behälter wird als *Cassette* oder auch als *Kassette* bezeichnet.

Das Bestreben, die Bedienung von Heimtonbandgeräten zu erleichtern, führte zur Entwicklung der Cassetten-Geräte. Einlegen bzw. Einfädeln des Tonbandes werden überflüssig, weil die Bandenden mit den Wickeldornen fest verbunden bleiben. Anfang und Ende des Tonbandes sind mit glatten Kunststoffolien versehen. Läßt man versehentlich eine Cassette zu weit

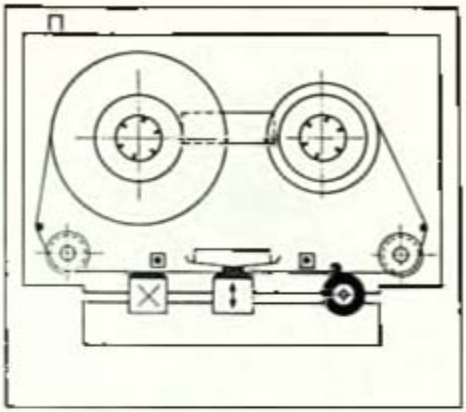


Bild 61. Aufbau einer Compact-Cassette

laufen, so bewirkt die erwähnte Folie Durchrutschen des Antriebs. Das Band kann nicht reißen. Neuerdings sind auch Ausführungen mit Schaltfolien im Handel (siehe diese).

Es gibt eine Vielzahl spulenloser Tonbandgeräte, die nach dem Kassettenverfahren arbeiten. Von den Herstellern wurden, in den Anfängen dieser Entwicklung, verschiedene Kassettenbauformen angeboten, von denen sich jedoch nur die sogenannten Compact-Cassetten durchzusetzen vermochten. **Bild 61** zeigt deren Aufbau in schematischer Darstellung. Die Skizze zeigt u. a. Führungsrollen bzw. Führungsstifte und eine Andruckfeder, die das Band an die Köpfe anpreßt. Das Tonband liegt mit der beschichteten Seite nach außen. Wesentliche Merkmale dieser Bauart: Breite des Bandes: 3,81 mm, Bandgeschwindigkeit: 4,75 cm/ sec. Träger: Polyester, Dicke: 9, 12 und 18 µm. An der rückwärtigen Schmalseite der Cassette sind Öffnungen angebracht, die wahlweise herausgebrochen werden können. Mit dieser Anordnung wird der Mechanismus einer automatischen Aufnahmesperre gesteuert. Compact-Cassetten sind auch bespielt lieferbar. Um versehentliches Löschen zu vermeiden, werden bei dieser Ausführung die erwähnten Öffnungen nicht herausgebrochen.

Compact-Cassetten-Geräte erfreuen sich einer ständig wachsenden Beliebtheit. Es gibt neben tragbaren Geräten auch Geräte für den Heimgebrauch. Die letzteren sind meist ohne End-

Bild 62. Stereo-Cassetten-Recorder (Philips 2503)

verstärker gebaut, so daß zur Wiedergabe ein separater Verstärker erforderlich ist. **Bild 62** zeigt ein Beispiel dieser Bauart. Es handelt sich um ein Stereogerät mit Bedienungseinrichtungen, die einem Spulengerät entsprechen. Frequenzbereich: 60 bis 12 000 Hz.

Cutten (vielfach auch mit „Cuttern" bezeichnet). Zerschneiden des Bandes und Zusammenfügen (Kleben) geeigneter Bandstellen (vom Engl. to cut = schneiden).

*Doppelspielband* siehe unter Tonbänder.

*Doppelspur-Verfahren* (auch Halbspurverfahren genannt). Magnetisierung nur der halben Bandbreite, so daß zwei Spuren nebeneinander aufgezeichnet werden können. Siehe Tonbänder.

*Dropout:* Bei der Aufnahme im Band ausgefallene (ausgetropfte) Stelle, verursacht durch Schmutz zwischen Band und Tonkopf bzw. durch Fehler in der Magnetschicht.

*Einspur-(Vollspur-)Verfahren:* für spezielle Zwecke angewandt, nutzt die ganze Tonbandbreite aus.

*Endloskassetten.* Kassetten mit nur einem Bandwickel. Anfang und Ende des Tonbandes sind zusammengeklebt. Man unterscheidet zwischen Ausführungen für normale Spulenge-

räte und für Sonderkonstruktionen, die speziell für die E. gebaut sind.

Entzerrung. Schalttechnische Anordnung zum Ausgleich tonfrequenter Verluste, die sich dadurch äußern, daß bei konstant gehaltenem Aufsprechstrom die Bandmagnetisierung mit steigender Tonhöhe (Frequenz) in der Wiedergabe immer schwächer wird (die Höhen gehen verloren). Die Höhen müssen im Aufsprech- und Wiedergabeverstärker angehoben bzw. mehr verstärkt werden als die Tiefen. Das kann durch regelbare Kombinationen von RC-Gliedern erreicht werden. Die Zeitkonstante eines RC-Gliedes errechnet sich aus dem Produkt R. C. Daher werden Angaben über Entzerrungswerte in Mikrosekunden gemacht (1 µsec = 1/1 000 000 sec). Nach DIN 45 513 beträgt die Zeitkonstante bei den Geschwindigkeiten 76 und 38 in den Höhen 35 µsec, bei 9,5 in den Höhen 120 µsec und in den Tiefen 3180 µsec (in diesem Fall kommt die „Tiefenentzerrung" keiner Anhebung gleich, sondern einer Absenkung: Dämpfung).

Frequenzgang (von Tonbandgeräten). Der F. ist im allgemeinen von der Bandgeschwindigkeit abhängig. Erhöhung der Bandgeschwindigkeit bewirkt immer eine Verbesserung des Frequenzgangs. Für Studiogeräte liegen die Eck- bzw. Grenzfrequenzen bei etwa 30 Hz und 20 000 Hz. Die Mindestforderungen für den F. sind – für die einzelnen Geräteklassen – in DIN 45 511 festgelegt.

| Geräteklasse → | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Bandgeschwindigkeit in cm/sec | 76,2 | 38,1 | 19,0 | 9,53 | 4,76 |
| kurzzeitige Geschwindigkeitsschwankungen | 0,2% | 0,3% | 0,8% | 2,0% | keine Festlegung |
| untere Grenzfrequenz in Hz | 40 | 40 | 50 | 100 | keine Festlegung |
| obere Grenzfrequenz in Hz | 15 000 | 15 000 | 10 000 | 6 000 | keine Festlegung |
| Klirrfaktor bei 1 kHz | 3% | 3% | 5% | 5% | keine Festlegung |

*Geräteklassen.* In der **Tabelle** auf Seite 91 sind die Mindestforderungen an Tonbandgeräte für verschiedene Klassen angegeben.

*Gleichlauf.* Einhalten der Sollgeschwindigkeit des Bandlaufs. Bei kurzzeitigen Gleichlaufschwankungen spricht man wie bei Schallplattenwiedergabe von *Flutter* und *Wow* (siehe diese). Mangelhafter Gleichlauf führt zu Tonhöhenschwankungen, vor allem bei periodisch auftretenden kurzzeitigen Abweichungen von der Sollgeschwindigkeit.

Nach DIN-Normen sind z. B. für Heimtonbandgeräte $\pm 2\,‰$ zulässig, bei einer Bandgeschwindigkeit von 19 cm/s. Für Hi-Fi-Geräte gilt dieser Wert für alle Bandgeschwindigkeiten (DIN 45 500).

*Grundgeräusch.* Summe der Geräuschspannungen, zusammengesetzt aus Bandrauschen, Störspannungen des Verstärkers und dem sogenannten Modulationsrauschen. Letzteres resultiert z. B. aus nicht gleichmäßiger Beschichtung der Tonbänder, bestimmten Unvollkommenheiten der Köpfe oder ähnlichen Ursachen. Bei Geräten der oberen Preisklassen ist das G. vernachlässigbar gering, vorausgesetzt, man benutzt die vom Hersteller empfohlene Bandsorte.

*Halbspur* siehe Doppelspurverfahren.

*High-Output/Low Noise-Band.* Tonband mit besonderen Eigenschaften, vielfach auch als LH/-Hi-Fi-Band bezeichnet. Eigenschaften: Erweiterte Aussteuerbarkeit, extrem rauscharm (das L in der Kurzbezeichnung stammt von dem englischen Ausdruck „low noise = rauscharm). Diese Bandsorte ist als Lang- und Doppelspielband im Handel und wird von allen Herstellern gefertigt.

*Hinterband-Kontrolle.* Wenn bei einem Tonbandgerät Sprechkopf und Hörkopf voneinander getrennt sind, dann kann das soeben Aufgenommene unmittelbar danach über den Hörkopf wiedergegeben werden (Abhören mit Kopfhörer: Kontrolle auf Fehlerfreiheit der Aufnahme). Bei Geräten mit Kombikopf (siehe diesen) ist das nicht möglich.

*Kaschierband.* Ein Band mit übertragbarer Magnetschicht. Die Schicht kann durch Einwirken von Wärme (z. B. Bügeleisen) auf ein beliebiges Material (Metall, Stoff, Papier) aufgeklebt

(kaschiert) werden. Nach dem Abziehen des ursprünglichen Schichtträgers haftet die magnetisierbare Schicht auf dem betreffenden Material. Das Verfahren wird unter anderem für die Magnetbespurung von Bildfilmen verwendet.

*Klavierfest.* Bezeichnung für ein Magnettongerät, bzw. ein Band, bei dem der Klavierton völlig dem Original entsprechend – nicht verzerrt oder zerhackt – wiedergegeben wird.

*Koerzitivkraft.* Stärke des Magnetfeldes, das, entgegengesetzt angelegt, erforderlich ist, um die Magnetisierung eines magnetisierten Werkstoffes verschwinden zu lassen, d. h. zu löschen.

*Kombikopf.* Wenn Sprechkopf und Hörkopf eine Einheit bilden, spricht man von einem Kombikopf.

*Kopierdämpfung.* Da die Windungen des Tonbandes eng aneinanderliegen, findet eine leichte gegenseitige magnetische Beeinflussung der Lagen aufeinander statt: Kopiereffekt. Man ist natürlich bestrebt, diesen Effekt so klein wie möglich zu halten, zumindest so klein, daß er praktisch nicht in Erscheinung tritt. Das Verkleinerungsverhältnis wird Kopierdämpfung genannt und in Dezibel (siehe diese) ausgedrückt. Zur Vermeidung von Kopierdämpfungen ist das Band vor Erschütterungen und zu starker Erwärmung zu schützen.

*Kopiereffekt* siehe Kopierdämpfung.

*Langspielband* siehe unter Tonbänder.

*Laufwerk.* Das L. hat die Aufgabe, die Bandgeschwindigkeit konstant zu halten. Im Laufe der Jahre hat sich in dieser Hinsicht ein gewisser Standard durchgesetzt: Das Tonband wird von einer *Gummiandruckrolle* gegen die *Tonwelle* gepreßt. Der Vorschub bzw. Transport des Bandes erfolgt durch Friktion (Reibung). Es ist verständlich, daß diese beiden wichtigen Bauteile enge Toleranzen aufweisen müssen.

Allgemein wird zwischen ein- und mehrmotorigen Antrieben unterschieden. Bei Geräten der ersteren Bauart wird ein Motor benutzt, der drei Funktionen übernehmen muß: Bandzug, schneller Vor- und schneller Rücklauf. Rutschkupplungen am Aufwickeldorn und Bremsvorrichtungen am Abwickeldorn sorgen für konstanten Bandzug (Drehmoment der Rutschkupplung und Bremsmoment am Abwickeldorn sind vom Wickeldurchmesser abhängig).

Bild 63. Dreimotoren-Laufwerk für Betrieb in senkrechter oder waagerechter Lage (Revox A 77)

Für Geräte der oberen Preisklasse werden meist drei Motoren benutzt, von denen einer die Tonwelle antreibt (Tonmotor), die beiden anderen Motoren sind reine Wickelmotoren, die häufig bei Aufnahme oder Wiedergabe mit umgekehrtem Drehsinn arbeiten, um konstanten Bandzug zu gewährleisten. — Weiterhin sind für alle Tonbandgeräte Bremsen erforderlich, die ein schnelles Halten nach vorausgegangenem schnellen Vor- oder Rücklauf bewirken.

Moderne Magnettongeräte sind für waagerechten oder senkrechten Betrieb ausgelegt. **Bild 63** zeigt ein Heimstudiogerät in Dreimotorenbauweise für Betrieb in senkrechter oder waagerechter Lage (Revox A 77).

*Laufzeitregler*, Gerät, mit dessen Hilfe die Laufzeit von Tonbandaufzeichnungen ohne Beeinflussung der Tonhöhe geändert werden kann. Eine zeitliche Änderung zwischen 60 und 180 % bleibt ohne Einfluß auf die Wiedergabegüte. L. finden praktisch nur bei Studiogeräten Anwendung.

*Löschbarkeit* eines Tonbandes wird mit zunehmender Koerzitivkraft (siehe diese) schlechter. Maß ist die Löschdämpfung (siehe diese).

*Löschdämpfung*. Dämpfung in dB (Dezibel), die ein aufgenommener Ton beim Löschen des Bandes am Löschkopf erfährt. Die L-Dämpfung soll über 70 dB liegen.

*Löschdrossel*. Gerät, das an Netzspannung gelegt, den Inhalt einer ganzen Tonbandspule durch starken Elektromagnetismus zu löschen vermag.

*Löschen*. Änderung der magnetischen Verhältnisse in der Bandschicht durch den Löschkopf in der Art, daß bei der Wiedergabe keine tonfrequenten Schwingungen mehr erzeugt werden. Das L. erfolgt durch das Einwirken eines starken Magnet-Wechselfeldes. Frequenz des Löschstroms zwischen 35 und 100 kHz (jenseits des Hörbereichs).

*Luftspalt*. Spalt zwischen den Polen der Sprech-, Wiedergabe- und Löschköpfe (Ringmagnete). Ein kombinierter Sprech-Hör-Kopf hat eine Luftspaltbreite von rund 0,0005 mm.

*Multiplayback*, im Gegensatz zum Playback-Verfahren (siehe dieses) wird hier auf der zweiten Spur die zweite Aufnahme mit der Aufnahme der ersten Spur bereits gemischt aufgezeichnet. Zu dieser Aufnahme kann dann eine weitere Stimme, ein weiteres Instrument, usw. auf der ersten Spur aufgezeichnet, gemischt werden, und so fort.

*Normen der Magnettontechnik*. DIN 45 500, Blatt 4 (Mindestforderungen), ferner Normenblätter DIN 45 507, 45 510, 45 511, 45 512 und 45 513. Zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln.

*Pegel*, allgemein: Durchschnittswert der Spannung am Eingang des Aufsprech- bzw. am Ausgang des Wiedergabeverstärkers. Unter Bezugs- bzw. Normalpegel versteht man sinngemäß einen genormten Wert einer der beiden Spannungen.

*Pilotton*. Zur Synchronisierung von Tonbändern und Bildern (Diapositive bzw. Filme) wird auf das Tonband eine Steuerfrequenz von beispielsweise 50 Hz – das ist der Pilotton – aufgesprochen. Mit seiner Hilfe kann der Bandlauf bei der Wiedergabe geregelt werden.

*Playback.* Aus dem Englischen übernommener Ausdruck (wörtlich übersetzt: Rückspiel). In der heutigen technischen Umgangssprache versteht man jedoch darunter ein bestimmtes Aufnahmeverfahren. Ein bespieltes Band wird über einen Kopfträger geführt und passiert dort nacheinander Hör-, Lösch- und Sprechkopf. Die (tonfrequente) Spannung des Hörkopfes wird über ein Mischpult mit der Spannung einer anderen Tonquelle (Mikrofon, 2. Bandgerät o. ä.) gemischt. Dieses Gemisch wird dem Sprechkopf zugeführt und somit neu aufgenommen. Der in der Mitte befindliche Löschkopf löscht die ursprüngliche Modulation. Dieses Verfahren, das einen Spezialkopfträger erfordert (normale Reihenfolge: Lösch-, Sprech-, Hörkopf), wird u. a. zur Schallplattenherstellung verwendet (insbesondere bei Schlagerplatten). Zuerst wird die Orchesterbegleitung aufgenommen, in einem zweiten Arbeitsgang wird der Chor hinzugefügt, in einem dritten der Solopart. Seltener wird das Verfahren bei klassischer Musik angewandt. – Durch die Vierspurtechnik ist auch dem Amateur die Möglichkeit der Durchführung eines solchen Verfahrens gegeben. Die Modulation einer Spur wird mit der einer anderen Tonquelle gemischt und auf einer anderen Spur wieder aufgenommen. Es gibt vereinzelt Zweispurgeräte mit zwei vollständigen Kopfsätzen, die speziell für das Playback-Verfahren eingerichtet sind.

*Recorder,* engl. Bezeichnung für Magnettongerät.

*Schaltfolie.* An beiden Enden eines Tonbandes werden Folien aus leitendem Material angebracht. Die S. bewirken Schließen eines Stromkreises, der – über ein Relais – den Antriebsmechanismus stoppt. Häufig besteht eine der Bandführungen aus zwei voneinander isolierten Teilen. Beim Vorübergleiten der leitenden Folie werden beide kurzzeitig miteinander verbunden, wodurch der erwähnte Vorgang ausgelöst wird.

*Signiertonband,* auf der Rückseite beschriftbares Standardband.

*Spieldauer.* Bandlänge und Bandgeschwindigkeit bestimmen die Spieldauer. In nachstehender Tabelle ist die Spieldauer in Minuten je Spur für die jeweilige Bandlänge (entsprechend der Spulengröße) und für verschiedene Geschwindigkeiten angegeben. Eine gegebene Spule faßt natürlich eine größere

Bandlänge, wenn das Band dünn ist (z. B. Dreifachspielband), als bei stärkerem Bandmaterial (z. B. Langspielband).

In nachstehender Tabelle ist die Spieldauer in Minuten je Spur für die jeweilige Bandlänge, entsprechend der Spulengröße, für verschiedene Geschwindigkeiten angegeben.

| Bandlänge m | Bei einer Bandgeschwindigkeit von 19 cm/sec min | 9,5 cm/sec min | 4,75 cm/sec min | 2,4 cm/sec min |
|---|---|---|---|---|
| 65 | 6 | 11 | 23 | 45 |
| 90 | 8 | 15 | 30 | 60 |
| 135 | 11 | 23 | 45 | 90 |
| 180 | 15 | 30 | 60 | 120 |
| 270 | 23 | 45 | 90 | 180 |
| 360 | 30 | 60 | 120 | 240 |
| 540 | 45 | 90 | 180 | 360 |
| 720 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| 1000 | 85 | 170 | 340 | 680 |
| 1080 | 90 | 180 | 360 | 720 |

*Spulengröße.* Die Spulengrößen und Bandlängen gehen aus folgender Tabelle hervor:

| Spulendurchmesser cm | Standardband m | Langspielband m | Doppelspielband m | Dreifachspielband m |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 45 | 65 | 90 | 135 |
| 10 | 90 | – | 180 | 270 |
| 11 | 135 | 180 | 270 | 360 |
| 13 | 180 | 270 | 360 | 540 |
| 15 | 270 | 360 | 540 | 720 |
| 16 | 360 | 540 | 720 | 1080 |
| 22 | 500 | 720 | 1000 | – |
| 25 | – | 1000 | – | – |
| 26,5 | – | 1260 | – | – |

*Spurbreite,* siehe **Bild 64.**

*Spurlage.* International festgelegte Lage der Tonspuren. Laufrichtung für Aufnahme und Wiedergabe stets von links

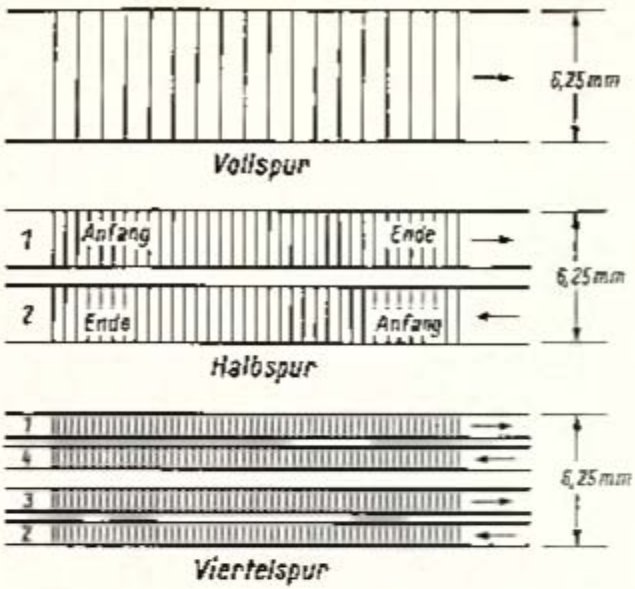



Bild 64. Spurlage und Spurbreite

nach rechts. Bei Halbspur wird zunächst die erste (die obere Hälfte des Bandes) bespielt, dann die zweite (die untere Hälfte), die nach dem Umdrehen der Spule ebenfalls oben liegt. Bei Viertelspur ist die Reihenfolge 1–4–3–2 wobei 1 und 3 die gleiche Richtung haben und die Spuren 2 und 4 die entgegengesetzte von 1 und 3 (DIN 45 511). – Siehe dazu auch Bild 64.

*Standardband* (stärkstes Band) wird nur noch für Sonderzwecke hergestellt.

*Studioqualität* heißt soviel wie beste Wiedergabequalität. Der Ausdruck rührt vom Rundfunkstudio und Schallplattenstudio her, weil hier höchste Qualität verlangt wird.

*Tonbänder.* Dünne Kunststoffbänder mit aufgegebener magnetisierbarer Schicht. Bandbreite 6,25 mm (DIN 45 512). Foliendicke je nach dem Bandtyp (siehe weiter unten). Material: Acetylcellulose, Polyvinylchlorid, Polyester. Dicke der magnetisierbaren Schicht 10...15 µm. Magnetisierbare Substanz: besonders aufbereitetes Eisenoxyd. Die ersten Tonbänder wurden von der BASF (Badische Anilin- und Sodafabrik, Ludwigs-

hafen/Rhein) hergestellt. Die Firma Agfa (Bayerwerke, Leverkusen) in Verbindung mit Gevaert liefert ebenfalls Tonbänder aller Art. Als Bezugsquellen kommen u. a. ferner hinzu: Telefunken, Philips, Scotch und Soundcraft. Es wird unterschieden zwischen Standard-, Langspiel-, Doppelspiel- und Dreifachspielbändern. Eigenartigerweise haben sich im Laufe der Zeit auch die englischen Bezeichnungen der einzelnen Bandsorten eingebürgert. SP = Standard Play, LP = Long Play = Langspielband, DP = Double Play = Doppelspielband, TP = Triple Play = Dreifachspielband. (Die Kurzbezeichnung für eine weitere Bandsorte, nämlich LH, wurde bereits oben erläutert.)

*Tricktaste.* Vorrichtung zum Abschalten des Löschkopfes, durch Abschaltung oder auf mechanischem Wege durch Abheben des Bandes vom Löschkopf. Diese Einrichtung bietet die Möglichkeit, in eine vorhandene Aufnahme eine zweite oder mehrere weitere hineinzukopieren.

**Megaphone** sind große Schalltrichter, mit deren Hilfe der Schall in bestimmter Richtung gebündelt ausgesandt wird (dadurch größere Reichweite). *Elektrische Megaphone* (tragbar ausgeführt) bestehen aus einem Mikrofon, einem Verstärker und einem Trichterlautsprecher (sehr stark vergrößerte Reichweite).

**Mehrfachecho, Mehrfachreflexion.** Mehrfach wiederholte Echos eines Schalls. Im geschlossenen Raum werden z. B. Schallwellen zwischen gegenüberliegenden Wänden hin- und hergeworfen. Dabei nimmt die Intensität der Einzelechos stetig ab, wodurch dem Hörer eine Raumdehnung vorgetäuscht wird. Schnell aufeinanderfolgende Einzelechos nennt man *Klangecho* (siehe dieses).

**Melodiekurve.** Laufende Aufzeichnung der Grundtonhöhe von Sprachklängen in Worten und Sätzen; läßt Schlüsse z. B. auf Gesangs- und Atemtechnik zu.

**Mikrobar** siehe bei Millibar.

**Mikrofone.** Die Mikrofone sind die wichtigsten Glieder elektroakustischer Anlagen, stehen sie doch am Anfang der Über-

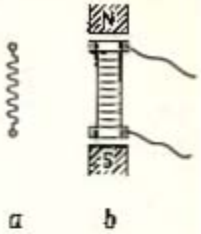



Bild 65a, b. Schematische Darstellung eines Bändchenmikrofons

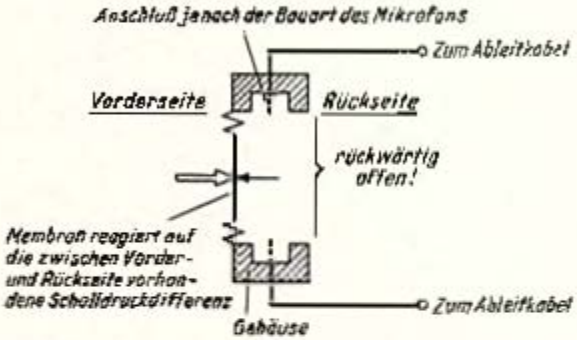



Bild 66. Schema eines Druckdifferenzmikrofons

tragung. Es ist vor allem zu fordern: Frequenzunabhängigkeit, möglichst große Freiheit von nichtlinearen Verzerrungen, hohe Empfindlichkeit. Nach ihrem elektrischen Aufbau unterscheidet man Kontakt-(Kohle-)-Mikrofone, dynamische M., Kristall-M., Kondensator-M. und magnetische M.

Begriffserklärungen:

*Bändchenmikrofon.* Das B. zählt zu den dynamischen Mikrofonen. Arbeitsweise: Ein geriffeltes Aluminiumbändchen (Schnitt, **Bild 65a**) ist in einem starken homogenen Magnetfeld angeordnet (Bild 65b). Dieses Bändchen wirkt als Membran. Auftreffende Schallwellen verursachen Schwingungen, die – bedingt durch die Aufhängung in einem starken Magnetfeld – in Spannungen umgewandelt werden.

*Druckdifferenz-Mikrofone* nennt man die Bauart, bei der die Membran auf Unterschiede des Schalldrucks auf die Membran-Vorderseite und die Membran-Rückseite anspricht (beiderseitig offene Mikrofone, **Bild 66**). – Die Richtcharakteristik ist achterförmig.

*Dynamische Mikrofone.* Man unterscheidet Bändchen- und Tauschspulenmikrofone. Die letzteren sind häufiger vertreten. Prinzip in beiden Fällen: Ein Leiter befindet sich in einem starken Magnetfeld (zwischen den Polen eines Elektro- oder Permanent-Magneten) und wird durch auftreffende Schallwellen in Schwingungen versetzt. Im Leiter werden dabei Wechselspannungen entsprechender Frequenz erzeugt.

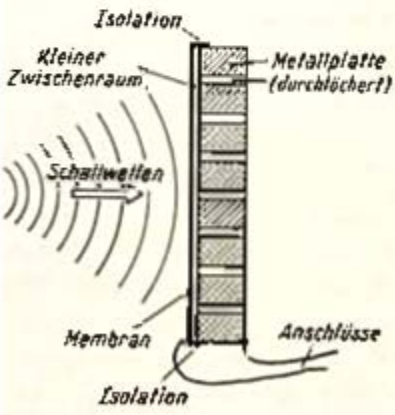
*Knochenmikrofon.* Ein Mikrofon, bei dem die Schallübertragung unter Vermeidung des Luftweges und durch Ausnützung der Schallfortleitung im menschlichen Schädelknochen vor sich geht.

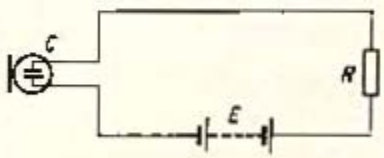
*Kehlkopfmikrofon.* Mikrofon, das am Kehlkopf anliegt und Sprachschwingungen auf mechanischem Wege übertragen erhält. Gegen äußeren störenden Schall wenig empfindlich (u. a. verwendet im Flugzeug).

*Kondensatormikrofone* (kapazitive M.) sind hochwertige Systeme. Prinzip: Die Schallaufnahmemembran bildet mit einer Metallplatte in geringem Abstand von ihr einen Kondensator, dessen Kapazität sich entsprechend den Membranschwingungen ändert. **Bild 67** veranschaulicht das Prinzip.

Die Mikrofonkapazität beträgt etwa 100...150 pF. Die Grundschaltung zeigt **Bild 68**. R ist ein Widerstand von 40 bis 80 MΩ, E eine Gleichspannungsquelle von 80...150 Volt.

Ändert sich der Kapazitätswert von C, so ändert sich auch die Spannung an den Kontakten des Kondensatormikrofons und entsprechend an R. – Diese „Niederfrequenzschaltung" ist




Links: Bild 67. Schema eines Kondensatormikrofons (Schnitt)
Oben: Bild 68. Schaltung eines Kondensatormikrofons

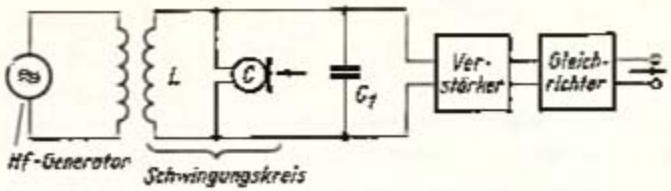



Bild 69. Hochfrequenzschaltung eines Kondensatormikrofons

üblich. – In der Hochfrequenzschaltung (**Bild 69**), die wenig verwendet wird, ändert das Mikrofon als Kapazität eines Schwingkreises die Eigenfrequenz des letzteren und moduliert die Amplitude einer Hf-Spannung; Gleichrichtung ergibt die Nf-Spannung.

Kondensatormikrofone werden direkt mit der ersten Verstärkerstufe zusammengebaut, da die Empfindlichkeit bei angeschlossener längerer Leitung zurückgeht; Schaltung: **Bild 70**. Kondensatormikrofone haben einen sehr geringen Klirrfaktor, der kaum höher als 0,1 % ist. Frequenzgang: 30 bis 20 000 Hz. Dynamik: 75 dB. Abgabe 0,7 bis 1,5 mV/µbar.

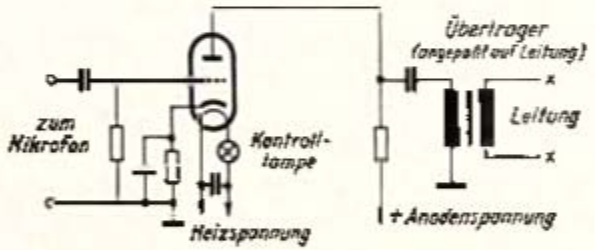
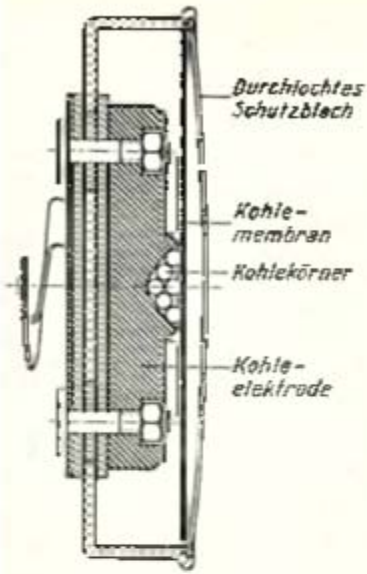
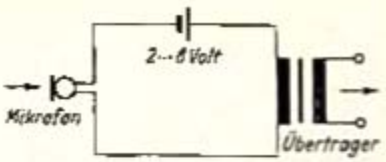



Bild 70. Schema eines Röhren-Mikrofon-Verstärkers

*Kontaktmikrofone* (Kohlemikrofone) sind am häufigsten vertreten (Fernsprechtechnik). Vorteil: hoher Wirkungsgrad. Nachteile: starke Verzerrungen, schlechter Frequenzgang. Für die Ansprüche der Rundfunk-, Tonfilm-, Tonband- und Schallplatten-Technik reichen sie nicht aus. Die üblichen Kontaktmikrofone (Kohlekörnermikrofone) sprechen auf Schalldruck an: Zusammenpressen des Kontaktmaterials verringert den Widerstand, daher Stromschwankungen im Mikrofonstromkreis (mit Batterie) entsprechend den auftretenden Schallimpulsen. Kontaktmaterial: feine Kunstkohle-Körnchen (0,1 bis




Links: Bild 71. Schnitt durch eine ältere Kohlemikrofonkapsel (Fernsprecher)




Oben: Bild 72. Schaltung eines Kontaktmikrofons

0,5 mm Durchmesser); sie befinden sich zwischen zwei aus Kunstkohlepulver gepreßten Elektroden (Längsstrommikrofon). Fernsprechmikrofon im Schnitt **Bild 71**. Frequenzbereich der Kontaktmikrofone 200 bis 4000 Hz. Klirrfaktor liegt bei 5 bis 10 % (Fernsprechmikrofone bis zu 50 %). Bei einem mittleren Widerstand von 120 Ω und einem Speisestrom von 40 bis 45 mA liefern die Kontaktmikrofone eine Spannung von etwa 90 mV/µbar. – Anschaltung der Mikrofone (**siehe Bild 72**) über Transformator (niederohmige Mikrofonübertrager 1:25 bis 1:30, hochohmige Transformatoren 1:5 bis 1:8). Gleichspannungsquelle 2 bis 8 Volt.

*Kristallmikrofone* (piezoelektrische). Bestimmte Kristalle (Turmaline, Quarze, Seignettesalze) zeigen eine elektrische Ladung an ihrer Oberfläche, wenn auf sie Druck ausgeübt wird (piezoelektrischer Effekt). Die Seignettesalze sind in dieser Hinsicht am empfindlichsten und können zum Bau von Mikrofonen Verwendung finden. Man schneidet aus den besonders gezüchteten Kristallen in ganz bestimmter Richtung Plättchen von etwa 0,3 mm Stärke und belegt sie auf beiden Seiten mit Stanniol. Zwei solcher Anordnungen werden zu einer Doppelplatte zusammengeklebt. Bei Biegebeanspruchung wird ein

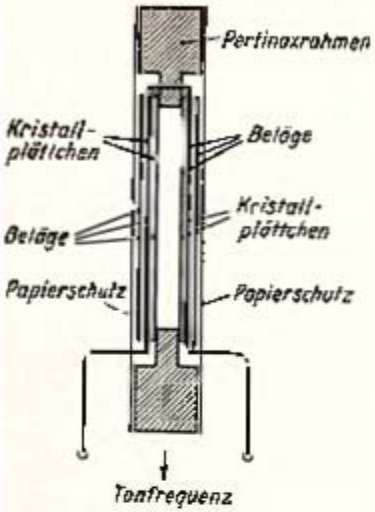



Bild 73. Schema der Klangzelle eines piezoelektrischen Mikrofons

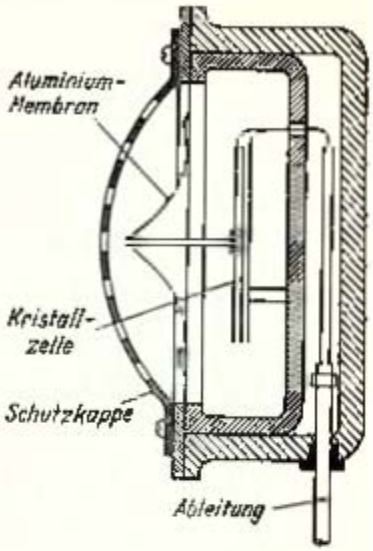



Bild 74. Schnitt durch ein Kristallmikrofon (Philips)

Kristall gedehnt, das andere verkürzt. Die an den Belegen auftretenden Spannungen addieren sich. Nach **Bild 73** werden zwei Doppelplatten zu einer „Klangzelle" vereint (luftdichter Abschluß des Zwischenraumes). Eine Klangzelle hat eine Oberfläche von etwa 1 cm². Mehrere Zellen können zu einer Einheit zusammengefaßt werden. Empfindlichkeit 0,2 bis 0,5 mV/µbar. Neben der Klangzellenausführung werden die empfindlicheren Membranmikrofone hergestellt; schematischer Aufbau siehe **Bild 74**. Frequenzbereich 30 bis 14 000 Hz. Empfindlichkeit etwa 1,8 mV/µbar. – Angeschlossene Leitungslängen bis etwa 10 m zwischen Mikrofon und Verstärker sind ohne Empfindlichkeitsverminderung möglich, da der Kapazitätswert des Mikrofons mit 1000 pF relativ hoch ist. Verwendung u. a. als Kleinstmikrofone.

*Lavaliermikrofon*, Umhängemikrofon.

*Magnetische Mikrofone*. Der Aufbau ähnelt einem magnetischen Kopfhörer, Arbeitsweise jedoch im umgekehrten Sinn. Anwendungsbereich: Mikrofone für Magnettongeräte und Diktiergeräte, sehr kleine Ausführungen werden für Sonderzwecke angewandt (Krawatten- oder Knopflochmikrofone). Sonderaus-

führungen dieser Bauart werden zu direkter Übertragung der von bestimmten Musikinstrumenten erzeugten Klänge verwendet, z. B. für Gitarren. Gebräuchliche Impedanz: 500 bis 5000 Ω. Empfindlichkeit etwa 5 mV/µbar.

*Normen für Mikrofone.* DIN 45 500, Blatt 5 (Mindestanforderungen), ferner die Normenblätter DIN 45 590, 45 591, 45 593, 45 594. Zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln.

*Reflektor-Mikrofon.* Arbeitsweise: Das eigentliche Mikrofon ist im Brennpunkt eines Parabolspiegels angeordnet, der – ähnlich der optischen Anwendung – den aufgenommenen Schall aus einer bestimmten Richtung scharf bündelt. Anwendung nur in Sonderfällen. Manchmal werden für diese Zwecke auch mehrere Reflektor-Mikrofone in Gruppen zusammengefaßt.

*Richteffekt.* In der Mikrofontechnik spielt der R. eine wichtige Rolle. Die Richtcharakteristik ist – von wenigen Ausnahmen abgesehen – frequenzabhängig. Bei Mikrofonen, die unmittelbar auf Schalldrücke ansprechen, erhält man eine kreis- bzw. kugelförmige Charakteristik, vorausgesetzt die Abmessungen der Membran, bzw. des eigentlichen Systems sind nicht zu groß. In allen Fällen werden die senkrecht zur Membran auftreffenden Schallwellen bevorzugt aufgenommen. **Bild 75** zeigt die Richtwirkungskurve eines Mikrofons, aufgetragen für drei verschiedene Frequenzen.

Wenn beide Seiten der Membran dem Schallfeld ausgesetzt sind, wie z. B. bei dem Kondensatormikrofon nach **Bild 76**, bei

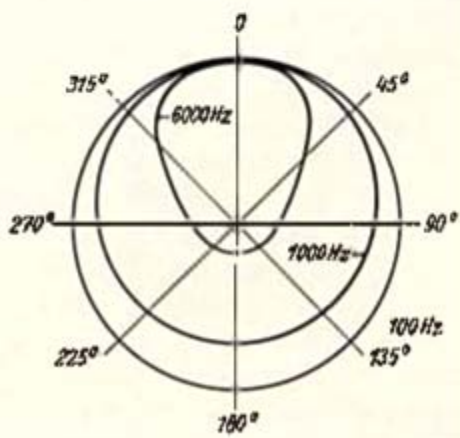



Bild 75. Richtwirkungskurve eines Mikrofons

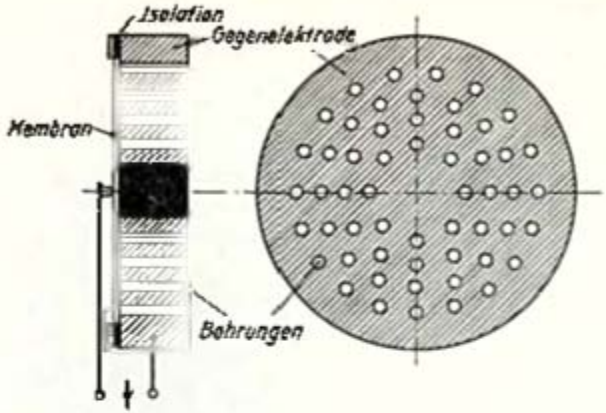



Bild 76. Kapsel eines Kondensatormikrofons mit Achtercharakteristik

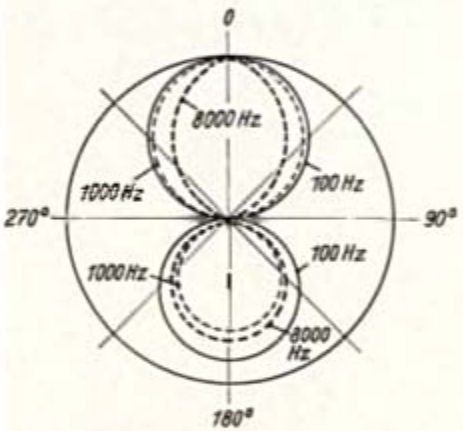



Bild 77. Richtcharakteristik des Mikrofons nach Bild 76

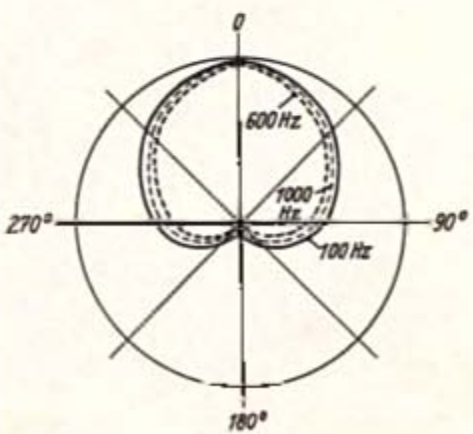



Bild 78. Richtcharakteristik nach Bild 79

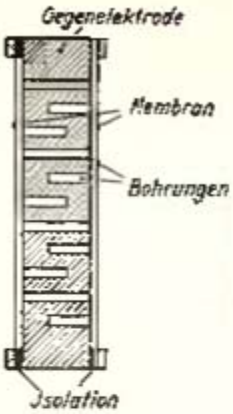



Bild 79. Kondensatormikrofon mit nierenförmiger Richtcharakteristik

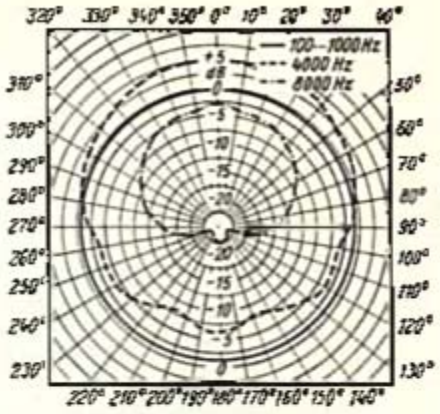



Bild 80. Richtcharakteristik eines Tauchspulenmikrofons (Philips)

Bild 81. Hyperkardioidförmige Richtwirkungskurve

dem die Gegenelektrode und ihre Unterlage durchbohrt sind, ergibt sich eine Achtercharakteristik nach **Bild 77**. Die Form einer Kardioide in (Herzformcharakteristik) **Bild 78** ergibt sich z. B. bei dem Kondensatormikrofon der in **Bild 79** gezeigten Form (einseitige Richtkurve). Jedenfalls hat man es durch konstruktive Maßnahmen in der Hand, gewünschte Richtwirkungen zu erzielen. Die Richtcharakteristik eines handelsüblichen Tauchspulenmikrofons veranschaulicht **Bild 80**.

Auch bei dieser Bauart lassen sich durch geeignete Maßnahmen alle gewünschten Charakteristiken erreichen. Die Richtwirkung ist für die Eignungswahl von Bedeutung. Für die Aufnahme musikalischer Darbietungen aus einem publikumsgefüllten Saal verwendet man Mikrofone mit einseitiger Richtwirkung. Akustisch beste Effekte lassen sich mit Mikrofonen

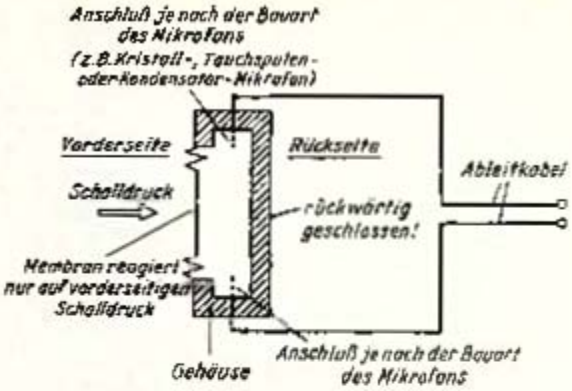



Bild 82. Schema eines Druckmikrofons

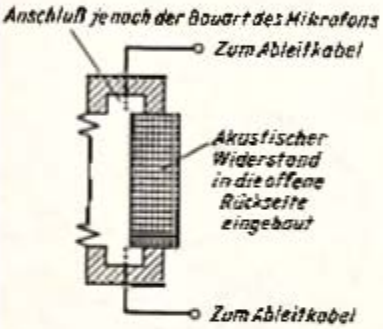



Bild 83. Mikrofon mit rückwärtigem akustischen Widerstand

erzielen, deren Hauptempfindlichkeit einseitig ist, die aber zusätzlich eine geringe Empfindlichkeit nach der entgegengesetzten Richtung hin aufweisen. Man nennt ihre Richtwirkungskurve „hyperkardioidförmig" (**Bild 81**).

Die allseitig empfindlichen Mikrofone sind rückseitig völlig abgeschlossen! Nur die Membran-Vorderseite ist dem Schalldruck ausgesetzt. Die Schallwellen üben ungeachtet ihrer Richtung und Herkunft in jedem Punkt des Luftraumes einen Schalldruck aus. Man nennt die rückseitig geschlossenen Mikrofone *Druckmikrofone* (**Bild 82**). Verwendung in Fällen, wo auch Publikumsgeräusche und Nachhall möglichst gleichwertig übertragen werden sollen.

Kardioidförmige Richtwirkungen verschiedenster Art (herzförmig oder nierenförmig) erzielt man dadurch, daß man nach **Bild 83** einen akustischen Widerstand in das Mikrofon einbaut,

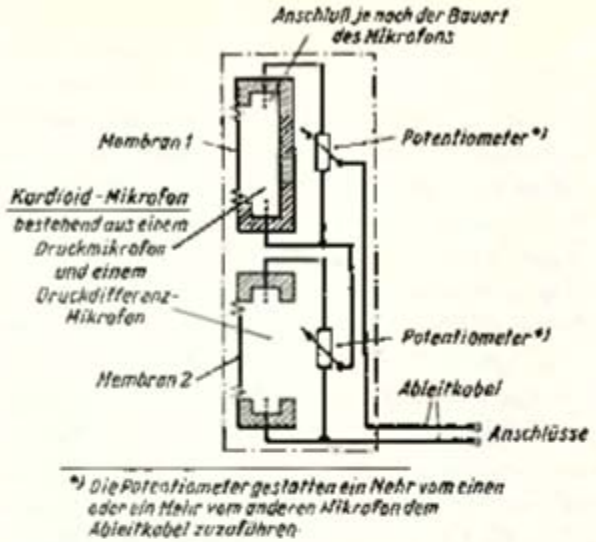



Bild 84. Verbindung zweier Mikrofone zur Erzielung beliebiger Richtwirkungen

der rückseitig mehr oder weniger Schalldruckenergie zur Membran gelangen läßt: entweder wird der Druckanteil oder der Druckdifferenz-Anteil größer gemacht. Soll es möglich sein, die Richteigenschaften eines Mikrofons beliebig zu ändern (auch aus der Ferne), dann werden zwei Mikrofone nach Bild 84 miteinander verbunden. Anwendung nur bei ganz hochwertigen Systemen.

*Rohrmikrofon.* Tauchspulenmikrofon, bei dem der Schall vor Erreichen der eigentlichen Membran ein Rohr durchläuft, das durch besondere konstruktive Maßnahmen reflexionsfrei gemacht wurde (Prinzip der akustischen Leitung). Am oberen Ende des Rohres ist eine Kunststoffscheibe angebracht; dadurch wird eine Richtwirkung erzielt, die der des menschlichen Ohres ähnelt.

*Rückkopplung* (bei Mikrofonen). Schallwellen aus dem Lautsprecher treffen auf die Membran des Mikrofons, gelangen auf diese Weise wieder zum Verstärkereingang und werden erneut vom Lautsprecher abgestrahlt. Durch diese Vorgänge entsteht ein Heulton, dessen Lautstärke ansteigt und schließlich die eigentliche Darbietung übertönt.

Abhilfe gegen diese Erscheinungen: Mikrofone mit guter Richtwirkung (Lautsprecheranordnung im Schallschatten).

*Schaltmikrofon.* Mikrofon mit im Griff eingebautem Schalter, der z. B. als Start-Stop-Schalter für ein Magnetgerät dienen kann. Diese Bauart wurde speziell für Diktiergeräte entwickelt.

*Tauchspulenmikrofone* sind in gewissem Sinn dynamische Lautsprecher mit umgekehrter Funktion: Eine Tauchspule, befestigt an einer kleinen Membran, taucht in ein ringförmiges Magnetfeld. Die auftretenden Schallwellen bewirken Schwingungen der Tauchspule im Magnetfeld, wodurch darin kleine Spannungen entstehen, die dem Schalldruck proportional sind. **Bild 85** zeigt das Schema einer solchen Anordnung. Moderne Ausführungen zeichnen sich durch sehr gute Frequenzkurven aus, die bis über 12 000 Hz linear sind. Nichtlineare Verzerrungen treten kaum auf. – Frequenzgang 50 bis 15 000 Hz. Dynamik etwa 60 dB. Klirrfaktor unter 1 %. Empfindlichkeit bei 1000 Hz 0,2 mV/µbar. **Bild 86** zeigt ein modernes Studio-Richtmikrofon, das nach dem Tauchspulenprinzip arbeitet.

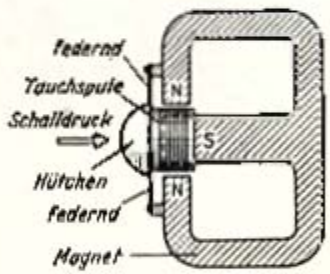



Bild 85. Schema eines Tauchspulenmikrofons

Bild 86. Modernes Studio-Richtmikrofon (Sennheiser MD 441)

**Mikrofonie,** Kling-, Heul- oder Brummtöne an empfindlichen Verstärkern (auch Plattenspielern), hervorgerufen durch mechanische Erschütterungen, die durch vom Lautsprecher abgestrahlte Schallwellen verursacht werden.

**Mikrofonübertrager.** Mikrofone werden für verschiedene Impedanzen ausgelegt, man unterscheidet zwischen nieder-, mittel- und hochohmigen Ausführungen. Studiomikrofone sind z. B. niederohmig, Impedanz: 200 Ω (im Ausland auch 50 Ω). Mittel- und hochohmige Mikrofone werden vorzugsweise für Diktier- und Heimtonbandgeräte verwendet. Zur Anpassung der Mikrofonimpedanzen an die Leitung bzw. an den Verstärker eingang benutzt man Mikrofonübertrager. **Bild 87** zeigt typische Ausführungen. Die Anordnung a) erfordert sorgfältige Abschirmung des Mikrofonkabels. Ist auf der Mikrofonseite des Übertragers ein Anschluß mit Erde verbunden, so spricht man von asymmetrischem Anschluß. Die Schaltungen c, d, e und f werden als symmetrisch bzw. erdsymmetrisch bezeichnet. Dabei erreicht man eine weitgehende Unempfindlichkeit gegen Störspannungen (z. B. Netzbrummen), beide Leitungsadern weisen gegenüber Erde die gleiche Tonspannung auf. Der eigentliche Masseanschluß erfolgt an der elektrischen Mitte der Primärwicklung. Eine fehlende Mittelanzapfung auf der Eingangsseite

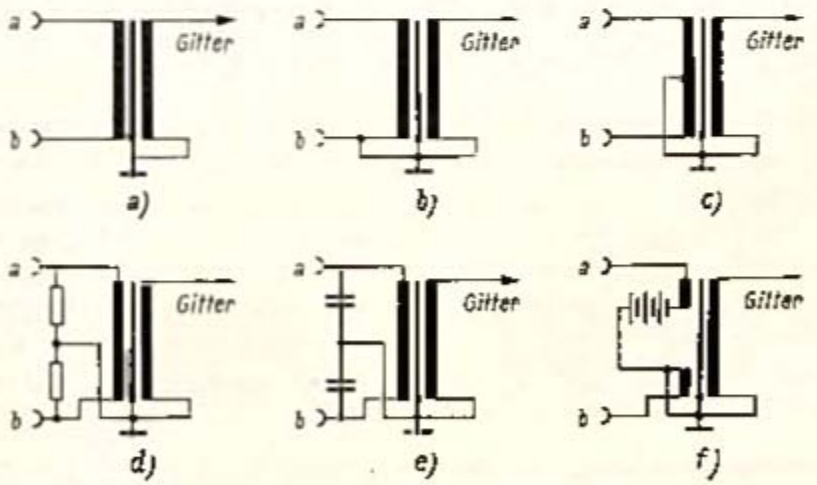



Bild 87. Verschiedene Anschlußmöglichkeiten für Mikrofonübertrager

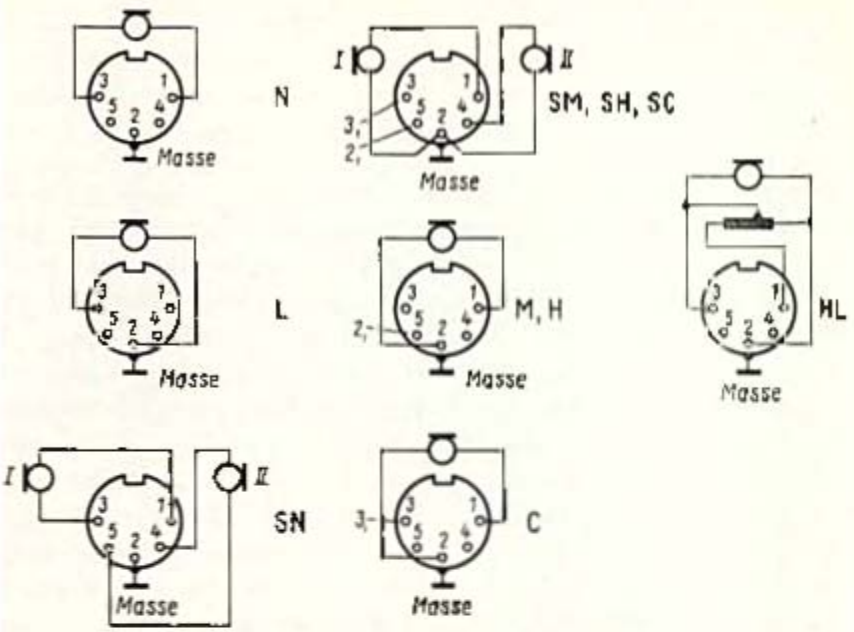



Bild 88. Mikrofon-Anschlußschemen (DIN 45 594). Die Kennzeichen bedeuten: N = niedriger Innenwiderstand, symmetrisch, 50...300 Ω; 0,05 bis 0,5 mV/µbar; L = niedriger Innenwiderstand, asymmetrisch, 50 bis 500 Ω, 0,05 bis 0,5 mV/µbar; SN = Stereo, niedriger Innenwiderstand, symmetrisch, 50...300 Ω, 0,05...0,5 mV/µbar; SH = Stereo, hoher Innenwiderstand, 25...150 kΩ, 1...10 mV/µbar; SC = Stereo, kapazitiver Innenwiderstand, 500...3000 pF, 0,5...5 mV/µbar; M = mittlerer Innenwiderstand, 500 Ω...5 kΩ, 0,1...1 mV/µbar; H = hoher Innenwiderstand, 25...150 kΩ, 1...10 mV/µbar; C = kapazitiver Innenwiderstand, 500 bis 3000 pF, 0,5...5 mV/µbar; HL = Werte wie H bzw. L

des Übertragers läßt sich durch Zuschalten von Widerständen (d) oder Kondensatoren (e) ersetzen (künstlicher Schaltungsmittelpunkt).

Die im Laufe der Jahre gestiegene Verbreitung der Magnettongeräte machte eine Normung der Mikrofonübertrager erforderlich, um universelle Vewendbarkeit sicherzustellen. Die Darstellung **Bild 88** zeigt die Anschlußschemen nach DIN 45 594, unter Verwendung drei- und fünfpoliger Normstecker (Zeichenerklärung in der Abbildung enthalten).

**Millibar**, Maßeinheit für den Druck (abgekürzt: mbar). 1 Millibar ist der tausendste Teil eines bar.

1 bar = 0,987 Atmosphären (physikalische)
= 1,02 at (technische Atm.) kg/cm²
= $10^6$ Mikrobar (dyn/cm²).

**Mischpult,** Vorrichtung zum Mischen mehrerer Tonquellen (Schallplatte, Radio, Mikrofon), die es gestattet, die Einzelaufnahmen gemeinsam auf eine Magnettonspur zu bringen. Die Lautstärke der einzelnen Tonquellen läßt sich beliebig regeln. Auch im Rundfunk senderseitig verwendet. **Bild 89** zeigt eine kleine Ausführung, insbesondere bestimmt für Tonbandaufnahmen.

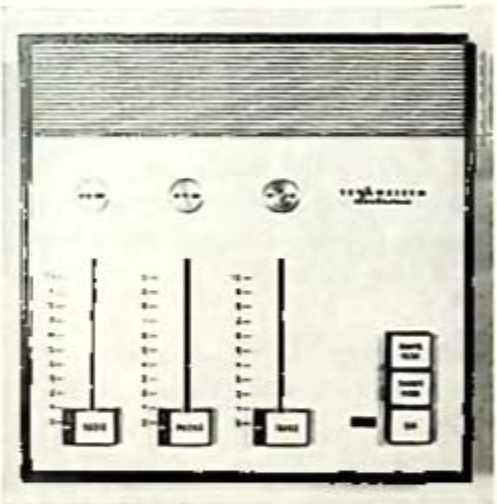


Bild 89. Beispiel für eine kleines Mischpult (Sennheiser)

**Mitkopplung,** positive Rückkopplung, bei der die Verstärkung vergrößert wird.

**Modulation.** a) Radiotechnischer Begriff: Beeinflussung der hochfrequenten Senderwelle durch niederfrequente Tonschwingungen (z. B. Amplituden-M., Frequenz-M.). – Siehe auch unter Amplituden-M.

b) Begriff der Tonbandtechnik: Aufzeichnen von Schallschwingungen auf dem Band.

c) Musikalischer Begriff: Übergang einer Tonart in eine andere (modulieren = in eine andere Tonart übergehen).

**Modulationsrauschen** entsteht u. a. bei der Tonbandaufzeichnung; Wahrnehmbarkeit abhängig von der stärkeren oder schwächeren Modulation. Das M. ist unter normalen Umständen nicht hörbar.

**Monaural** (wörtlich *einohrig*). Aufnahme und Wiedergabetechnik mit einem Mikrofon (einem „Ohr"), über einen Kanal und einen Lautsprecher (bzw. eine Lautsprechergruppe). Monaurale Verhältnisse liegen auch dann vor, wenn mehrere Mikrofone in einen „Kanal" münden bzw. wenn mehrere Lautsprecher aus einem Kanal gespeist werden. Gegensatz zu monaural: binaural = zweiohrig (Stereo).

Obwohl die Ausdrücke „monaural" und „binaural" im Schrifttum gebräuchlich sind, sollte nach den Normen die Bezeichnungen „monofonisch" und „stereofonisch" verwendet werden, da auch einkanalige Übertragungen mit zwei Ohren aufgenommen werden. Siehe auch unter Stereofonie.

**Monobetrieb**, Bezeichnung für einkanaligen Betrieb im Gegensatz zum zweikanaligen Stereobetrieb.

**Monophon**, einzeltönig; aus dem griechischen *monos* = einzeln und *phone* = Laut, Ton, Stimme, Klang.

**Monoplatte**, einkanalig aufgenommene Schallplatte für *monaurale* Wiedergabe (siehe unter Schallplatte).

**Molltonarten**, Tonarten mit kleiner Terz im Gegensatz zu den Durtonarten mit großer Terz.

**Multiplexsignal**, siehe unter Decoder.

**Music Power**, aus dem Englischen übernommener Ausdruck für Musikleistung bzw. Musikbelastbarkeit.

**Musik** (physikalische Grundlagen). Die „Töne" in der Musik sind im allgemeinen Klänge, Schwingungsgemische, deren Teiltöne ganze Vielfache eines tiefsten Tones, des Grundtones sind. Ausnahmen davon kommen bei elektronischer Musik vor.

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne zueinander wird als Intervall (Tonstufe) nach folgender **Tabelle** bezeichnet:

**Intervalle (Tonstufen).**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Oktave | 1 : 2 | kleine Terz | 5 : 6 |
| Quinte | 2 : 3 | große Sexte | 3 : 5 |
| Quarte | 3 : 4 | kleine Sexte | 5 : 8 |
| große Tertz | 4 : 5 | | |

Die reine Dur-Tonleiter (diatonische Stimmung) hat Einzelfrequenzen von einem zum nächsten Ton gerechnet, dem folgende Schritte entsprechen:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{16}{15}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{16}{15}$ |

Geht man z. B. von dem Ton c mit 1 aus, so ergibt sich folgende Reihe:

| c | d | e | f | g | a | h | c′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{9}{8}$ | $\frac{5}{4}$ | $\frac{4}{3}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{5}{3}$ | $\frac{15}{8}$ | 2 |

(Für e errechnet aus: $\frac{9}{8} \cdot \frac{10}{9} = \frac{5}{4}$; für c′ aus $\frac{16}{15} \cdot \frac{15}{8} = 2$ usw.)

In der Musik hat diese Schrittfolge manchmal gewisse Nachteile, deshalb hat man sich auf die „temperierte" Stimmung festgelegt, bei der die Oktave in 12 logarithmisch gleich große Intervalle (Halbtöne) geteilt ist. Jeder Halbtonschritt ist durch das Verhältnis 1 : 1,0595 festgelegt.

Für die absolute Tonhöhe ist der Kammerton a mit 440 Hertz maßgebend. Danach ergeben sich z. B. für c die folgenden Frequenzwerte für beide Stimmungen:

| Bezeichnung | Ton | Frequenzen der Stimmungen in Hz | |
|---|---|---|---|
| | | diatonisch | temperiert |
| Subcontra | $C_2$ | 16,5 | 16,35 |
| Contra | $C_1$ | 33 | 32,7 |
| Groß | C | 66 | 65,4 |
| Klein | c | 132 | 130,8 |
| Eingestrichenes | $c^1$ | 264 | 261,6 |
| Zweigestrichenes | $c^2$ | 528 | 523,2 |
| Dreigestrichenes | $c^3$ | 1056 | 1046,5 |
| Viergestrichenes | $c^4$ | 2112 | 2093 |
| Fünfgestrichenes | $c^5$ | 4224 | 4186 |
| Sechsgestrichenes | $c^6$ | 8448 | 8372 |

Der musikalischen Lautstärke entsprechen folgende Werte und Bezeichnungen:

| Phon | Bezeichnung | Phon | Bezeichnung | Phon | Bezeichnung |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | pppp | 40 | p | 70 | ff |
| 20 | ppp | 50 | mf | 80 | fff |
| 30 | pp | 60 | f | 90 | ffff |

**Musikbelastbarkeit**, siehe unter Lautsprecher.

**Musikinstrumente** (Frequenzumfang und Schalleistung). Der tiefste von Musikinstrumenten erzeugte Grundton ist das Orgel-Subcontra C (16,35 Hz); der tiefste Klavierton ist das Subcontra A, der höchste das fünfgestrichene c (4186 Hz). Der Klangumfang ist, bedingt durch die die Klangfarbe gebenden Obertöne, natürlich weit höher. **Bild 90** läßt den Grundton-Umfang einiger Musikinstrumente erkennen.

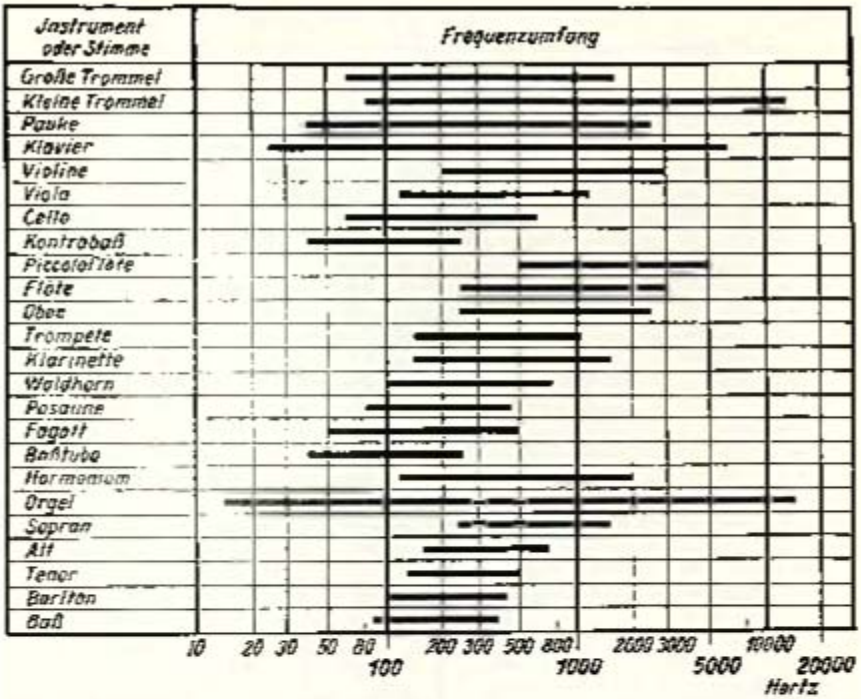



Bild 90. Grundton-Umfang einiger Musikinstrumente und der menschlichen Stimme

Die *Schalleistung* verschiedener Musikinstrumente in Watt ist aus der Tabelle auf Seite 118 ersichtlich. Jeweiliger Mittel- und Spitzenwert des Schalldruckes in Mikrobar (µbar).

Bei den Musikinstrumenten spielen die *Einschwingzeiten* insofern eine besondere Rolle, als von ihnen der Klangcharakter abhängt. Lange Einschwingzeiten, bei denen erst allmählich alle Teiltöne mitschwingen, bedingen einen weichen, kurze einen härteren Klang. Die Einschwingzeiten einiger Instrumente in Millisekunden sind im folgenden zusammengestellt.

| | |
|---|---|
| Trompete | 14... 20 msec |
| Saxophon | 36... 40 msec |
| Klarinette | 50... 70 msec |
| Geige | 80...120 msec |
| Flöte | 200...300 msec |

Eine Überlagerung der Einschwingvorgänge des Lautsprechers mit denen der Instrumente beeinträchtigt die Natürlichkeit der

*Schalleistung von Musikinstrumenten*

| Instrument | Entfernung in m | Schalldruck in µbar | | Schalleistung in Watt |
|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert | Spitzenwert | |
| Piccolo-Flöte | 1 | 2,2 | 20 | 0,04 |
| Klarinette | 1 | 3,3 | 26 | 0,05 |
| Baß-Tuba | 1 | 5,4 | 43,2 | 0,2 |
| Klavier | 3 | 2,8 | 23 | 0,27 |
| Baß-Saxophon | 1 | 4 | 58 | 0,29 |
| Trompete | 1 | 6,0 | 54 | 0,3 |
| Flöte | 1 | 1,8 | 14 | 1,5 |
| Posaune | 1 | 6,5 | 22,8 | 6,4 |
| Orgel | 5 | 20 | 90 | 12,5 |
| Große Pauke | 1 | 100 | 1260 | 25 |
| Kleines Orchester 35 Mann | 2 m vom nächsten Instrument | 7,9 | 90 | 5 |
| Großes Orchester 75 Mann | 5 m vom nächsten Instrument | 4,6 | 130 | 67 |

Wiedergabe. Bei der Konstruktion eines Lautsprechers muß daher auf diesen Faktor Rücksicht genommen werden.

**Musikleistung,** siehe unter Verstärker.

## N

**Nachhall** entsteht durch die Reflexion von Schallwellen, insbesondere in geschlossenen Räumen. Räume ohne Nachhall gibt es praktisch nicht, es sei denn, daß sie für meßtechnische Zwekke mit Schallschluckstoffen besonders ausgekleidet werden (schalltoter Raum). Zu geringer Nachhall wirkt sich ebenso ungünstig aus wie zu starker; letzterer wird zum Echo und setzt

die *Silbenverständlichkeit* der Sprache herab. Die Nachhallkurve eines Raumes muß möglichst frequenzunabhängig verlaufen; siehe dazu auch unter Raumakustik.

Künstlicher Nachhall kann die Wiedergabe verbessern und wird durch besondere Nachhallgeräte dem ursprünglichen Klang hinzugefügt. Schallplatteninhalte werden oft mit einem künstlichen Nachhall versehen. Bei Tonbändern ist die Hinzufügung von Nachhall möglich, wenn die Tonbandgeräte mit getrenntem Aufnahme- und Wiedergabekopf versehen sind. Die örtliche Verschiebung der beiden Köpfe gegeneinander ruft eine zeitliche Verschiebung zwischen Aufnahme und Wiedergabe hervor. Wird der Abhör-Elektroschall während der Aufnahme über ein Mischpult dem Sprechkopf zugeführt, dann ergibt sich ein Nachhall-Effekt. Wenn Tonband- oder Schallplatteninhalte auf Band überspielt wurden, läßt sich Nachhall auf einfache Weise hinzufügen: unter Verwendung der Tricktaste wird die gleiche Darbietung noch einmal auf das Band genommen, aber mit zeitlicher Verschiebung.

**Nachhallgerät**, Vorrichtung zur Erzeugung von *Nachhall*. Siehe auch unter Hallspirale und Magnetton.

**Nachhallzeit.** Definition: Die Zeit, in der, nach Abschalten der Schallquelle, die Lautstärke am Schallempfänger um 60 dB abgesunken ist.

**Nadelgeräuschfilter**, LC- oder RC-Netzwerk zur Absenkung des Nadelgeräusches. Bei modernen Plattenspielern wird eine derartige Einrichtung nur in Sonderfällen verwendet.

**NARTB**, Abkürzung für „National Association of Radio and Television Broadcasters", kurz auch NAB genannt. Amerikanische Norm (Entzerrung).

**Nennbelastbarkeit**, siehe unter Lautsprecher.

**Nennleistung**, siehe unter Verstärker.

Bild 91. Vergleich zwischen Neper und Dezibel, dargestellt als Intensitätsverhältnis (Schall)

**Neper.** Dämpfungs- bzw. Verstärkungsmaß, siehe auch unter Dezibel. Das N wurde im Laufe der Jahre durch das Dezibel ersetzt. **Bild 91** zeigt den Vergleich zwischen Neper und Dezipel, dargestellt als Intensitätsverhältnis (Schall).

**Netzwerke** (Drosselketten, Filter, Siebschaltungen, Siebketten). Schaltungsanordnungen zur Aussiebung oder Dämpfung be-

stimmter Frequenzen, oder zur Anpassung der Schallwiedergabe an das subjektive Gehörempfinden. Grundsätzlich unterscheidet man Hoch-, Tief- und Bandpässe. Der Hochpaß sperrt alle Frequenzen unterhalb einer bestimmten Schwingungszahl, läßt die höheren jedoch ungehindert hindurch. Der Tiefpaß besteht umgekehrt aus Gliedern, die von einer bestimmten Grenzfrequenz an Schwingungen mit höheren Werten einen hohen Widerstand entgegensetzen. Der Bandpaß schließlich läßt nur ein beschnittenes Frequenzband passieren; höhere und tiefere Frequenzen werden abgeschnitten. In anderer Anordnung schneidet das Bandfilter ein zu unterdrückendes Frequenzband heraus.

Die einzelnen Schaltelemente der Netzwerke sind Induktivitäten, Kapazitäten und Widerstände. Im einzelnen unterscheidet man zwischen LC-, RC- und RL-Kombinationen. Die Bemessung der jeweiligen Schaltglieder richtet sich – neben anderen Gesichtspunkten – nach dem geforderten Anpassungswiderstand für Ein- und Ausgang des Netzwerkes sowie nach den Gütefaktoren der benutzten Kondensatoren bzw. Spulen.

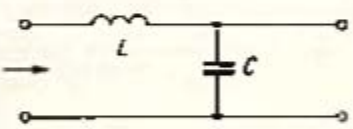



Bild 92. Schaltung eines Tiefpasses (I)

Bild 93. Frequenzkurve zum Tiefpaß I

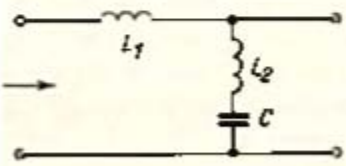



Bild 94. Schaltung eines Tiefpasses mit zwei Drosseln und einem Kondensator (II)

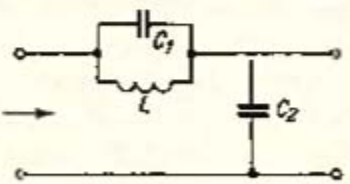



Bild 95. Schaltung eines Tiefpasses mit zwei Kondensatoren und einer Drossel (III)

Bild 96. Frequenzkurve zu Tiefpaß III (Bild 95)

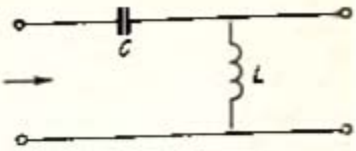



Bild 97. Grundsätzliche Form eines Hochpasses (I)

Bild 98. Frequenzkurve zum Hochpaß I (Bild 97)

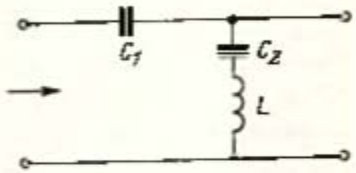



Bild 99. Hochpaß mit zwei Kondensatoren und einer Drossel (II)

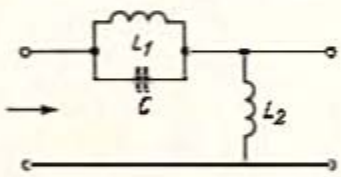



Bild 100. Hochpaß mit zwei Drosseln und einem Kondensator (III)

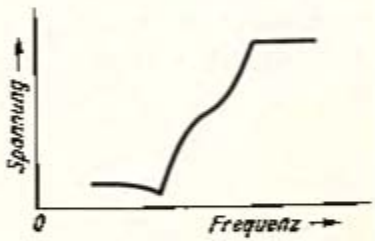



Bild 101. Frequenzkurve zu Hochpaß III (Bild 100)

Die Grundform eines *Tiefpasses* besteht aus einem induktiven Längsglied und einem kapazitiven Querglied (**Bild 92**). Die Spannung der zu unterdrückenden Frequenz sinkt etwa nach der Kurve **Bild 93** ab. Kombinationen nach **Bild 94** und **95**, zu welch letzterer die Kurve **Bild 96** gehört, ändern die Kurvenform des Tiefpasses. Die Grundschaltung des *Hochpasses* hat eine Kapazität als Längsglied und eine Induktivität als Querglied (**Bild 97**). Zugehörige Kurve: **Bild 98**.

Es sind die beiden weiteren Formen **Bild 99** und **100** möglich (Kurve zu Schaltung nach Bild 100, siehe **Bild 101**).

Ein besonderes Anwendungsgebiet für eine Kombination aus Hoch- und Tiefpaß sind die *Lautsprecherweichen*. Diese

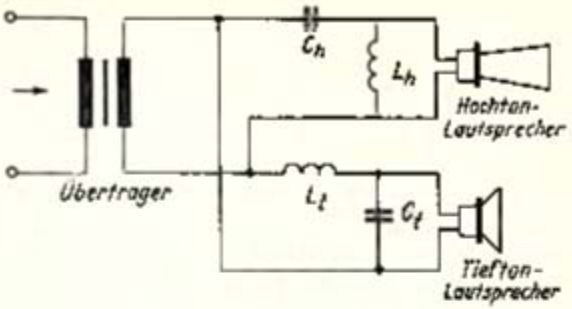



Bild 102. Hochpaß und Tiefpaß in einer Anordnung mit einem Hochton- und Tieftonlautsprecher

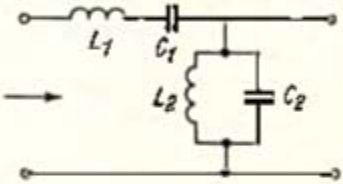



Bild 103. Schema eines Bandpasses, der ein bestimmtes Frequenzband durchlassen soll

Schaltglieder bewirken Aufteilung des Frequenzbereiches auf die verwendeten Lautsprecher. Bei hochwertigen Ausführungen werden mindestens drei Lautsprecher verwendet (Hoch-, Mittel- und Tieftonbereich). Um Überlappungen der Teilfrequenzbereiche zu vermeiden, muß bei den einzelnen Weichen die Absenkung für die zu sperrenden Frequenzen 6, 12 oder 18 dB pro Oktave betragen. Für Absenkungen von 12 oder 18 dB pro Oktave ist es erforderlich, die verwendeten Hoch-, Band- oder Tiefpässe aus mehreren Gliedern aufzubauen (z. B. Hintereinanderschaltung zweier Hoch- oder Tiefpässe mit gleichen Werten für C und L). **Bild 102** zeigt eine einfache Lautsprecherweiche für zwei Kanäle (Hoch- und Tiefpaß). Die Absenkung des unerwünschten Frequenzbereiches beträgt dabei 6 dB pro Oktave.

Die Errechnung der Induktivitäts- bzw. Kapazitätswerte wird nach den folgenden Formeln vorgenommen:

$$L = \frac{R}{2\pi \cdot f} \qquad C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R}$$

(L in Henry, C in Farad, R Lautsprecherimpedanz in Ohm, $f$ Grenzfrequenz des Hoch- bzw. Tiefpasses in Hertz).

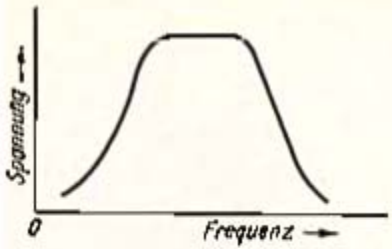



Bild 104. Frequenzkurve zu dem Bandpaß in Bild 103

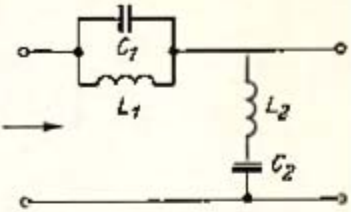
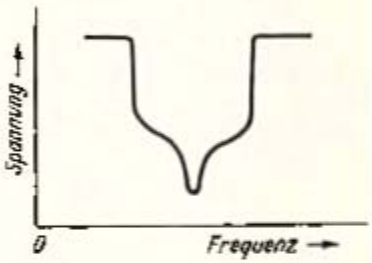



Bild 105. Schema eines Bandpasses zur Unterdrückung eines bestimmten Frequenzbandes

Rechts: Bild 106. Frequenzkurve zu dem Bandpaß in Bild 105



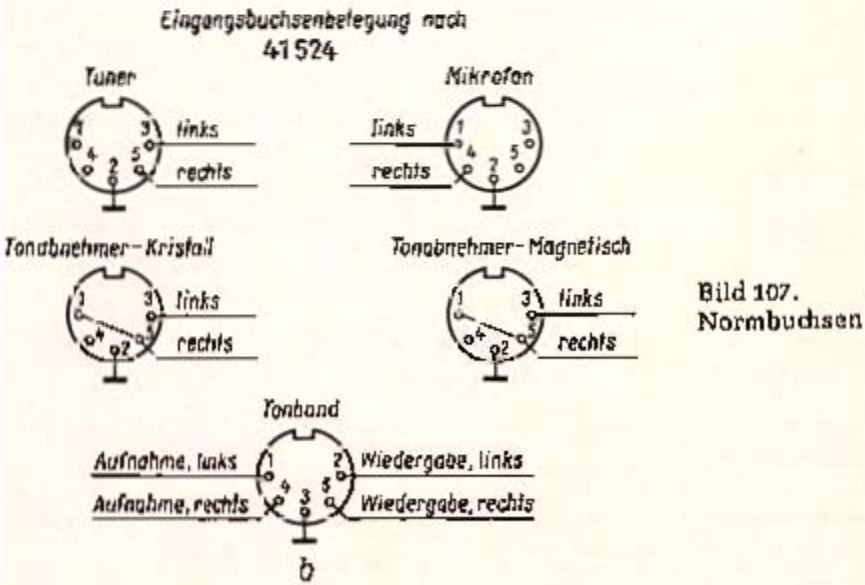



Bild 107. Normbuchsen

Ein Bandpaß ist nach **Bild 103** aufgebaut. Man unterscheidet zwischen Bandpässen für *Durchlaß* oder *Unterdrückung* eines bestimmten Frequenzbandes. Die erstere Bauart zeigt Bild 103 (Frequenzkurve **Bild 104**). In **Bild 105** ist ein Bandpaß zur Sperrung bzw. Unterdrückung eines bestimmten Frequenzbandes skizziert (Durchlaßkurve **Bild 106**).

**Nichtlineare Verzerrungen** (siehe auch unter Klirrfaktor), das Auftreten von im Original nicht vorhandenen Tönen.

**Niederfrequenz-Verstärker** (bzw. Nf-Verstärker) siehe unter Verstärker.

**Normbuchsen**, nach DIN-Vorschriften genormte Buchsen für Verstärker. **Bild 107 a** zeigt eine Lautsprechernormbuchse. In Bild 107 b sind die Kontaktbelegungen für Eingangsbuchsen dargestellt (DIN 41 524).

**Normstimmton**, der Ton a 1 mit 440 Hz (DIN 1317). Der Begriff Kammerstimmton (oder Kammerton) ist nicht eindeutig festgelegt; oft wird darunter der alte Stimmton von 435 Hz (Wiener Stimmung) verstanden. Siehe auch unter Internationale Stimmung bzw. unter Kammerton.

**Normung akustischer Begriffe**, Definitionen DIN 1320.

**Nullpegel**, Begriff aus der Verstärkertechnik. Der N. ist ein Standard- bzw. Normalpegel, der einen bestimmten Ausgangswert festlegt. Angabe des Wertes in dB oder N.

**Nutzschallstärke**, siehe unter Physiologische Akustik.

## O

**Obertöne** (Harmonische) haben Schwingungszahlen, die 2, 3, 4, 5, ..., n-mal so groß sind wie die Frequenz des Grundtones (siehe auch unter Klangfarbe). Harmonische Schwingungen verlaufen sinusförmig (Sinuskurve).

**Ohr.** Das Ohr besteht im wesentlichen aus dem äußeren *Gehörgang*, dem *Mittelohr* und dem *inneren Gehörgang*. Der äußere Gehörgang hat eine Gesamtlänge von ca. 2,5 cm. Das Mittelohr wird durch das Trommelfell vom äußeren Gehörgang getrennt. Auf das Trommelfell folgen im Mittelohr die Gehörknöchelchen (Hammer, Amboß, Steigbügel), welche die Schwingungen des Trommelfells auf das *ovale Fenster* übertragen. Im inneren Gehörgang befindet sich das Labyrint mit der *Schnecke*, dem für das Hören wichtigsten Teil, in dem sich das *Cortische Organ* befindet, von dem der Gehörnerv ausgeht.

**Ohrempfindlichkeit** siehe unter Physiologische Akustik.

**Ohrkurvenfilter,** Bandpaß mit einer Durchlaßkurve, die der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für die einzelnen Teilfrequenzbereiche entspricht. Verwendung zu Messungen an Wiedergabegeräten für Tonträger. Nach dieser Methode erhaltene Meßwerte nennt man *gehörrichtig bewertet*.

**Oktave,** siehe unter Musik.

**Oktavfilter.** Bandpaßfilter dessen Durchlaßbereich einer Oktave entspricht.

**Output.** Aus dem Englischen übernommener Ausdruck für Ausgangsleistung oder -spannung.

## P

**π-Schaltung,** Netzwerk mit Anordnung der einzelnen Schaltglieder in π-Form (auch für Kettenleiter gebräuchlich).

**Partialschwingungen,** siehe unter Lautsprecher.

**Pegel,** bestimmter Wert einer Spannung oder Leistung.

**Perkussion,** Ausdruck für Schlaginstrumente (z. B. Trommel) und/oder deren abgegebenen Schall.

**Pflichtempfangsschaltung,** Einrichtung an großen Lautsprecheranlagen für mehrere Räume zur Sicherstellung des Empfangs, der für alle Teilnehmer bestimmten Durchsagen, unabhängig von einem jeweils eingeschalteten Musikprogramm.

**Phasenlage** (Lautsprecher). Die Bezeichnung bezieht sich auf die Bewegung zweier Lautsprechermembranen. Diese müssen gleichphasig erfolgen, d. h. die Membranen müssen sich zu gleichen Zeitpunkten in gleicher Richtung bewegen. Sind die Lautsprecher falsch gepolt, dann schwingen sie gegensätzlich, worunter der Raumeffekt bei der Stereofonie (siehe diese) leidet. Es gibt Testplatten zur Kontrolle der Phasenlage.

**Phon,** Lautstärkeeinheit, siehe unter Lautstärke.

**Phonetik,** Lautkunde.

**Physiologische Akustik.** Das menschliche Ohr nimmt Schallschwingungen in dem Gebiet zwischen etwa 16 und etwa 20 000 Hertz auf. Konkrete Angaben lassen sich wegen der Subjektivität des Eindrucks nicht machen. Das Ohr des einen reagiert vielleicht erst bei 20 Hertz, während ein anderes schon 16 Schwingungen in der Sekunde als Schall registriert.

Bei den hohen Frequenzen ist es ähnlich, hier versagen die Ohren mancher Menschen schon bei Schwingungen über 12 000 Hertz. – Mit zunehmendem Alter nimmt die Aufnahmefähigkeit für hohe Frequenzen ab.

Die untere Grenze der Schallempfindung wird *Reizschwelle* genannt. Die Tonempfindung geht bei steigender Lautstärke schließlich in Schmerz über: *Schmerzschwelle*. Dazwischen liegt das Hörgebiet; in der grafischen Darstellung **Bild 108** erscheint es als Fläche (Hörfläche). Der Musikbereich ist als weitere Fläche eingetragen. – **Bild 105** läßt ferner erkennen, daß die Hörempfindung sowohl von der Schallintensität als auch von der Frequenz abhängig ist. Das normale Ohr ist im Gebiet um 3000

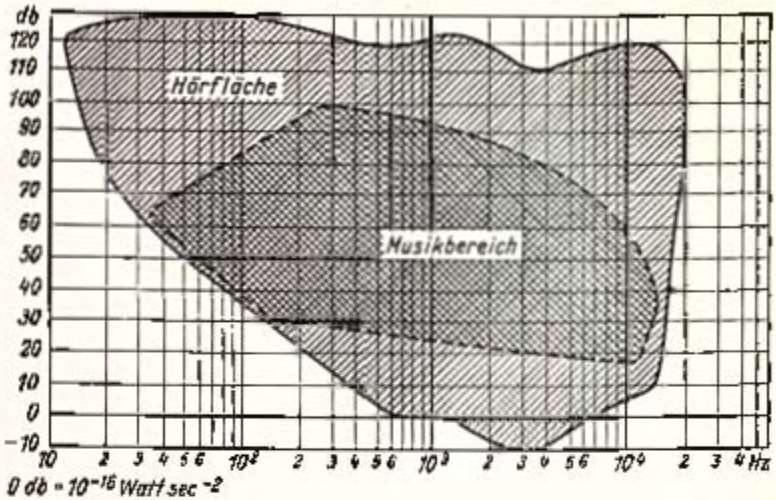



Bild 108. Umfang des Hörbereiches

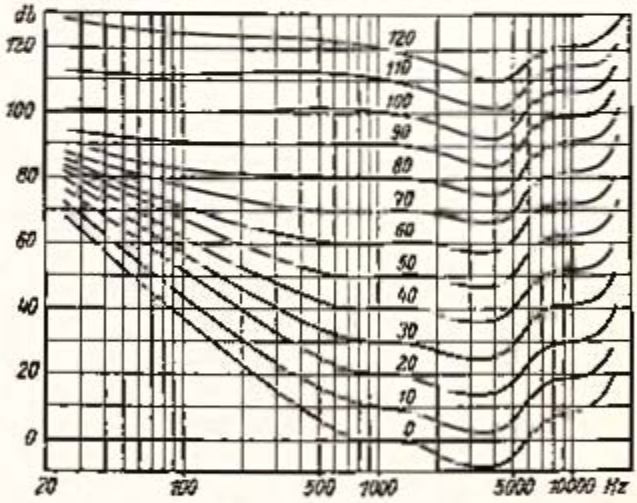



Bild 109. Kurven gleicher Lautstärkeempfindung (Isophone)

Hertz am empfindlichsten, d. h., daß es bei Frequenzen dieser Größenordnung geringste Schalldrücke aufzunehmen vermag ($2 \cdot 10^4$ Mikrobar). Bei tiefen und ganz hohen Tönen muß der Schalldruck, der eine Gehörempfindung hervorrufen soll, weit höher sein.

Die Lautstärkeempfindung ist bei einem bestimmten Schalldruck bei verschiedenen Frequenzen ganz verschieden, wie aus **Bild 109** hervorgeht. Die unterste Kurve ist gleichzeitig Reizschwellenkurve.

Über das Lautstärkemaß ist unter Lautstärke das Wesentliche gesagt. Hier sei hinzugefügt, daß die vom menschlichen Ohr vermittelte Schallempfindung nicht einfach in demselben Maße, sondern viel langsamer ansteigt als die wirkliche physikalisch gemessene Energie des Schalles. Das bedeutet, daß eine an sich schon starke Schalläußerung einer viel größeren zusätzlichen Schallmenge bedarf, um als lauter empfunden zu werden, als es bei einer von Natur schwächeren Schalläußerung der Fall ist. Man kann diese Tatsache mit der normalen Druckempfindung vergleichen. Die Hinzufügung eines 30-Gramm-Gewichtes zu einem auf die Handfläche gelegten 100-Gramm-Gewicht ist durchaus fühlbar. Lagen jedoch ursprünglich 1000 Gramm auf der Hand, so merkt man die Vermehrung um 30 Gramm überhaupt nicht. Eine Gewichtssteigerung wird erst bei einem Zusatzgewicht von 300 Gramm merkbar. In der Akustik ist es so, daß bei jeder Verzehnfachung der ursprünglichen Schallstärke die Schallempfindung nur um ein und denselben Betrag zunimmt (nicht etwa um den zehnfachen Betrag). Das menschliche Ohr kann Lautstärkeänderungen um ein Phon immer gerade noch wahrnehmen.

Das vom Ohr aufnehmbare Intensitätsintervall ist außerordentlich groß. Es beträgt bei einer Frequenz von 1000 Hertz zwischen Reizschwelle und oberer Hörgrenze 1 zu 100 000 Millionen.

Die Empfindungsstärke des Ohres für Schall nennt man *Lautheit* (siehe diese).

Die Schallempfindung ist zeitabhängig. Die volle Lautheit tritt erst nach 0,2 sec ein, um dann sehr langsam abzuklingen (Ermüdung). Nach jeder Erregung des Ohres vergeht eine verhältnismäßig lange Zeit, bis wieder der Ruhezustand (keine Lautempfindung) eintritt; etwa 0,5 sec.

Die Unterscheidungsfähigkeit des Gehörs für Frequenzschwankungen ist von dem jeweiligen Frequenzbereich abhängig, wie die Kurve **Bild 110** angibt.

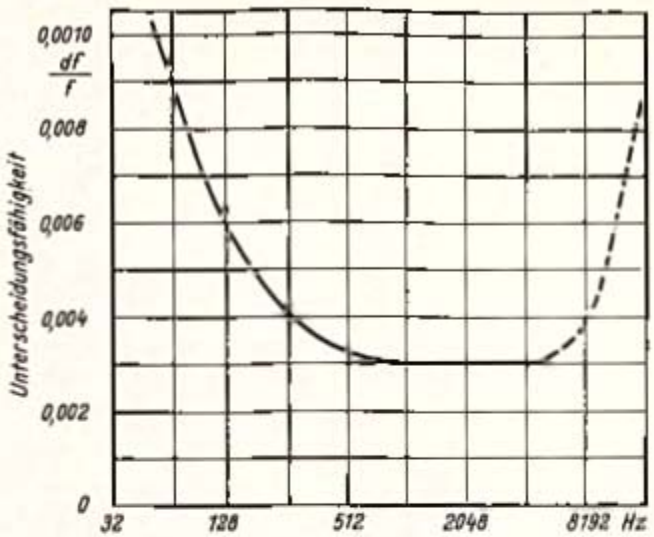



Bild 110. Unterscheidungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz (Unterscheidungsfähigkeit = wahrnehmbare Frequenzänderung)

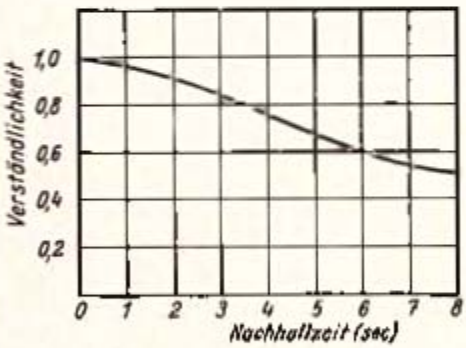



Bild 111. Verständlichkeit in Abhängigkeit von der Nachhallzeit

Wenn das Ohr einen Toneindruck hat, so wird seine Empfindlichkeit für einen weiteren Ton einer anderen Frequenz und kleinerer Lautstärke herabgesetzt. Ist der Lautstärkeunterschied groß, so kann der schwächere Ton von dem lauteren verdeckt werden. Daher werden Störgeräusche bei genügend großer Nutzlautstärke nicht mehr wahrgenommen (Verdeckung). Andererseits verursacht Nachhall durch Verdeckung eine Herabsetzung der Verständlichkeit. Diese in Abhängigkeit von der Nachhallzeit veranschaulicht die Kurve in **Bild 111.**

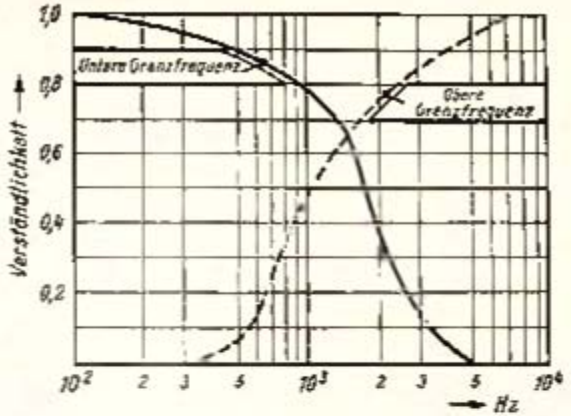



Bild 112. Verständlichkeit in Abhängigkeit von dem übertragenen Frequenzband

Der *Haaseffekt* ist eine weitere Ohreigenschaft. In einem größeren Raum mit mehreren Lautsprechern, in dem z. B. eine Rede übertragen wird, wird der Schall aus dem örtlich nächstgelegenen Lautsprecher zu früh aufgenommen (früher als aus dem entfernteren Lautsprecher). Das stört die Verständlichkeit. Deshalb wird die zu verstärkende Mikrofonspannung verzögert, so daß der Schall aus dem näher gelegenen Lautsprecher später zum Ohr des Hörers gelangt.

Die *Verständlichkeit* wird zahlenmäßig angegeben (nach dem prozentualen Anteil der richtig verstandenen Worte oder Silben zur Gesamtzahl der gesprochenen Worte oder Silben). Um Kombinationsmöglichkeiten des Hörers auszuschalten, läßt man den Sprecher sinnlose Silben (genormt als Logatome) sagen. Diese *Silbenverständlichkeit* ist abhängig von dem übertragenen Frequenzband (**Bild 112**).

**Pick up,** englische Bezeichnung für Tonabnehmer.

**Piezoelektrische Wandler,** elektroakustische Wandler, die nach dem Piezoelektrischen Prinzip arbeiten. Siehe unter Kristallmikrofon und Kopfhörer.

**Plastisches Hören,** siehe unter Stereofonie.

**Plattenwechsler,** automatischer Plattenspieler mit Wechselvorrichtung für mehrere Platten.

**Polungsprüfer (Elektroakustik),** Gerät zum Prüfen der Polung (Phasenlage) an elektroakustischen Wandlern und Verstärkern.

**Polymikrofonie,** Anordnung mehrerer Mikrofone zur Aufnahme eines Schallereignisses (z. B. Aufnahmen von Symphoniekonzerten).

**Potentiometer,** einstellbarer Spannungsteiler mit annähernd kreisförmiger Widerstands-Schleifbahn. Der Gesamtwiderstand liegt meist an der Spannungsquelle, der Verbraucher (folgende Verstärkerstufe) ist mit dem einstellbaren Schleifer verbunden.

**Pseudo-Stereofonie** (scheinbare Stereofonie). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, einen stereofonischen Wiedergabeverhältnissen ähnlichen Eindruck (bei Einkanal-Übertragung = Monobetrieb) zu erzeugen: z. B. gegenphasige Schaltung von zwei Wiedergabelautsprechern, die sich in bestimmtem Abstand voneinander befinden müssen, ferner: getrennte Abstrahlung der Höhen (linker Lautsprecher) und Tiefen (rechter Lautsprecher) usw.

## R

**Raumakustik** (und Bauakustik). Der wichtigste Begriff der Raumakustik ist die *Hörsamkeit;* ihr höherer oder geringerer Wert kennzeichnet die Eignung eines Raumes für Schalldarbietungen. Bestimmend für sie sind in der Hauptsache Raumgröße, Raumform und Nachhall (siehe diesen). Ein besonders wichtiger Faktor ist die Nachhallzeit, nämlich die Zeit, die der Schall nach Abschalten der Schallquelle braucht, um abzuklingen. Genauer: Die Zeit in Sekunden, in der die Lautstärke bis auf ein Millionstel ihres ursprünglichen Wertes herabgesunken

*Absorption in %*

| Baustoffe | 128 Hz | 256 Hz | 512 Hz | 1024 Hz | 2048 Hz | 4096 Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Putz, rauh | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 |
| Ziegelmauer, roh | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 14 |
| Ziegelmauer, verputzt | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 12 |
| Holztäfelung | 9 | 12 | 17 | 16 | 15 | 18 |
| Kunststein | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 |
| Marmor | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| Glas | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Vorhang | 5 | 10 | 23 | 26 | 30 | 34 |
| Sperrholzplatten (3 mm) auf 5 cm Luftpolster | 17 | 30 | 19 | 10 | 12 | 13 |
| Wachstuch auf 6 cm Luftpolster | 48 | 72 | 60 | 43 | 28 | 15 |
| Herakustik-Platten | 5 | 16 | 50 | 64 | 62 | 60 |
| Holzfaserplatten (direkt auf Wand) | 6 | 15 | 22 | 25 | 30 | 36 |
| Iporit-Betonwand 15 cm stark | 28 | 35 | 38 | 40 | 30 | 42 |
| Mineralwolle (4 cm stark mit Holzspangeflecht abgedeckt) | 31 | 60 | 60 | 65 | 60 | 20 |
| Baumwollstoff (glatt an der Wand) | 4 | 9 | 13 | 21 | 32 | 40 |
| Parkett | 3 | 4 | 6 | 12 | 10 | 17 |
| Linoleum | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| Gummi-Fußboden (5 mm dick) | 4 | 5 | 8 | 5 | 3 | 4 |
| Korkfußboden | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 |
| Teppich (im Mittel) | 7 | 8 | 10 | 15 | 27 | 48 |

ist. Die für einen Abfall von 8 Phon in 0,1 sec erforderliche Nachhallzeit beträgt 0,75 sec. Maßgebend für Nachhall und Nachhallzeit ist das Material der Wände, der Decke, des Bodens und des Inhalts (Möbel, Teppiche und Personen) eines Raumes.

Die einzelnen Baustoffe haben unterschiedliche Absorptionsvermögen. Der Schall wird reflektiert oder „verschluckt". Das

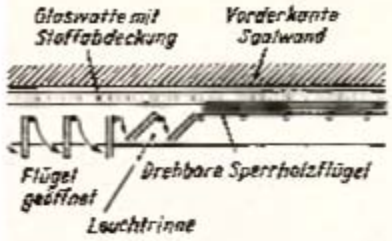



Bild 113. Drehbare Teilwandflächen zur Beeinflussung der raumakustischen Verhältnisse

Absorptionsvermögen (Schluckvermögen) ist frequenzabhängig. In vorstehender Tabelle sind die Absorptionswerte verschiedener Baustoffe für einige Frequenzen angegeben. Im allgemeinen gilt, daß weiche Stoffe stark, harte schwach absorbieren.

Durch die Anbringung drehbarer Teilwandflächen, die mit verschiedenartig schallabsorbierenden Stoffen bedeckt sind, können die akustischen Raumverhältnisse den jeweiligen Anforderungen bequem angepaßt werden **(Bild 113)**.

Für das gesprochene Wort ist die *Verständlichkeit* der wichtigste Faktor. Es braucht kaum gesagt zu werden, daß ein Raum mit guter Verständlichkeit akustisch auch für Musikdarbietungen geeignet ist (über den Begriff der Verständlichkeit siehe auch unter Physiologische Akustik, letzter Abschnitt). Gute akustische Verhältnisse setzen eine Verständlichkeit von 90 % voraus [90 % der Logatome werden verstanden]. Sinkt die Verständlichkeit unter 65 %, so bedeutet das, daß die raumakustischen Verhältnisse so schlecht sind, daß die Zuhörer das gesprochene Wort kaum mehr verstehen.

Die Verständlichkeit ist nicht zuletzt abhängig von der Lautstärke. Die Lautstärke muß in einem Raum mit großer Schallabsorption größer sein als in einem anderen mit geringer Schallschluckung. Sie muß so gewählt werden, daß an der von der Schallquelle entferntesten Stelle noch 60 bis 70 Phon gemessen werden.

In Räumen mit normalen Absorptionsverhältnissen, in denen also nicht durch besondere schallschluckende Materialien für eine starke Herabsetzung der Reflexion gesorgt wird, nehmen die meisten Hörer reflektierten Schall auf. Das gestattet es, die ursprüngliche Lautstärke niedriger zu halten, vorausgesetzt, daß die Lautstärke für jeden Zuhörer an jedem Platz minde-

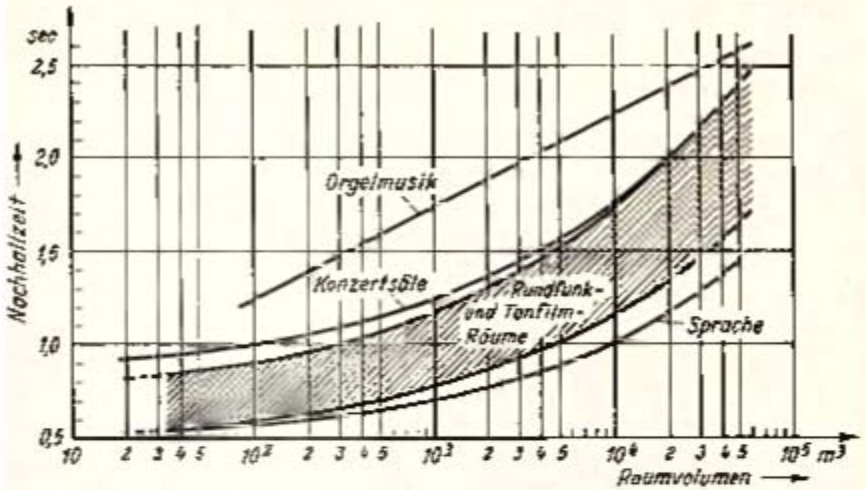



Bild 114. Günstige Nachhallzeiten für verschiedene Raumgrößen (bei mittlerer Frequenz)

stens 60 Phon beträgt (einerlei, ob es sich um direkt aufgenommenen oder reflektierten Schall handelt).

Die Lautstärkeverminderung des reflektierten Schalls hängt von der Nachhallzeit ab. Gute Verständlichkeit verlangt einen Wert von mindestens 0,75 sec. Die Darstellung **Bild 114** gibt günstige Nachhallzeiten in Abhängigkeit vom Raumvolumen an.

Schließlich ist in bezug auf die Verständlichkeit der Störpegel zu berücksichtigen.

Zulässige Werte von Störlautstärken sind im folgenden angegeben:

| Raumart | Phon |
|---|---|
| Rundfunkstudios, Tonfilmateliers | 12...15 |
| Krankenhäuser | 14...18 |
| Wohnungen | 16...20 |
| Theater, Schulräume | 18...30 |
| Öffentliche Ämter und Büros | 30...45 |

Die Verstärkerleistung, die für verschieden große Räume erforderlich ist, geht angenähert aus folgender Zusammenstel-

lung hervor, wobei ein niedriger Störpegel angenommen ist. Die Verstärkerleistung muß bei stärkeren Raumgeräuschen entsprechend erhöht werden.

| Rauminhalt in m³ | Erforderliche Verstärkerleistung (Mindestmaße) | | |
|---|---|---|---|
| | in stark gedämpftem Raum Watt | in normal gedämpftem Raum Watt | in hallendem Raum Watt |
| 100... 500 | 2... 4 | 1... 3 | 0,5...1,5 |
| 500...5000 | 5...30 | 1...15 | 0,8...3 |
| über 5000 | über 40 | über 20 | über 5 |

Erhöhung der erforderlichen Verstärkerleistung bei:
Mittlerem Raumgeräusch (kleinere Versammlungsräume) . . . . . 2... 5mal
Starkem Raumgeräusch (laute Gaststättenbetriebe) . 5...20mal

Es empfiehlt sich, die Verstärkerleistung stets höher vorzusehen, als die Berechnung ergibt; eine Verringerung während des Betriebes ist immer möglich.

Für das Freie gelten annähernd die folgenden (höheren) Werte:

| Zu beschallende Fläche in m² | Erforderliche Verstärkerleistung in Watt | |
|---|---|---|
| | Platz nach allen Seiten hin frei | Platz von schallreflektierenden Häuserwänden teilweise umgeben |
| 1 000 | 7 | 3... 7 |
| 2 000 | 10 | 7... 10 |
| 5 000 | 30 | 20... 30 |
| 20 000 | 100 | 75...100 |

**RC-Filter,** siehe unter Netzwerke.

**RC-Generator,** Tongenerator für Meßzwecke, dessen frequenzbestimmende Bauteile durch RC-Glieder gebildet werden (Wien-Brücke).

**RC-Kopplung**, siehe unter Verstärker.

**Reflexion** siehe unter Schallreflexion.

**Reichweite des Schalls** (Maximalwerte)

| | |
|---|---|
| Rufweite | 1 km |
| Kirchenglocken | 5 km |
| Donner | 30 km |
| Schallsender in Leuchttürmen | 75 km |
| Kanonendonner | 150 km |

Die direkte Schallhörbarkeit reicht bis höchstens 30 km Entfernung. Außerhalb einer folgenden schalltoten Zone ergibt sich eine weitere, oft ringförmige Hörbarkeitszone, hervorgerufen durch Reflexionen an einer höheren Schicht der Atmosphäre. Dadurch können starke Explosionen oder Geschützdonner noch in großer Entfernung (100 bis 150 km) wahrgenommen werden.

**Reizschwelle**, untere Grenze der Schallempfindung des menschlichen Gehörs; siehe auch unter Physiologische Akustik.

**Resonanz.** Bei genauer Abstimmung z. B. zweier Saiten oder zweier Stimmgabeln aufeinander regen die Schwingungen des ersten Systems das zweite zu Schwingungen an. Jeder Körper kann in Resonanzschwingungen geraten, wenn das ihn umgebende Medium in der Frequenz der ihm eigentümlichen Schwingungen (Eigenschwingungen) hin- und herpendelt.

**Richtungshören.** Bestimmung der genauen Richtung ankommenden Schalls. Beim menschlichen Hören besteht eine relativ geringe Fähigkeit des Richtungshörens. Sie ist darauf zurückzuführen, daß ein Ohr den Schallweg früher als das andere aufnimmt. Der kleinste mit dem Ohr noch als Richtung gewertete Zeitunterschied beträgt $^1/_{35\,000}$ Sekunde. Wird der Ohrabstand künstlich vergrößert, z. B. durch Aufstellen voneinander entfernter Horchtrichter, so wird das Richtungshören verfeinert. Beträgt der Winkel beim normalen Hören, innerhalb dessen keine Richtungsunterschiede mehr festzustellen sind, 3 Winkel-

grade, so lassen sich mit Horchtrichtern, die 1¹/₂ m voneinander aufgestellt sind, noch Winkelunterschiede von ¹/₂ Grad unterscheiden. Erweiterung des technischen Verfahrens durch Mikrofone und Verstärker. – Die Sicherheit des normalen Richtungshörens nimmt mit zunehmender Tonfrequenz ab.

**Richtungsmischer**, Gerät der Studiotechnik, bestehend aus Mischverstärkern für beide Stereokanäle. Mit solchen Einrichtungen kann die Richtung, aus der der Schwerpunkt einer Darbietung (z. B. bestimmte Instrumente und/oder Solisten bei Musikaufnahmen) gehört werden soll, beliebig verändert werden. Aus stereotechnischen Gründen ist die Regelmöglichkeit für den Richtungseindruck allein unbefriedigend. Man muß vielmehr zusätzlich die Basisbreite einstellbar machen. In der Praxis ist daher für jedes Mikrofon ein „Richtungsregler" und ein „Basisregler" vorhanden.

**Rillenmodulation**, siehe unter Schallplatte.

**Rohrmikrofon**, siehe unter Mikrofone.

**Rückkopplung, akustische**, siehe unter Mikrofone.

## S

**Saalregler**, Lautstärkesteller im Wiedergaberaum, getrennt vom Verstärker angebracht. Der S. dient zum Einstellen der Lautstärke z. B. in einem Kinosaal. (Die erforderliche Lautstärke für optimale Verständlichkeit richtet sich nach der Anzahl der Zuhörer.)

**Schall**, Materieschwingungen, soweit es sich um hörbaren Schall handelt, im großen ganzen Luftschwingungen (Luftwellen), die sich als Längswellen (Longitudinalwellen) fortpflanzen. Längswellen sind im Vergleich zu den Querwellen (Trans-

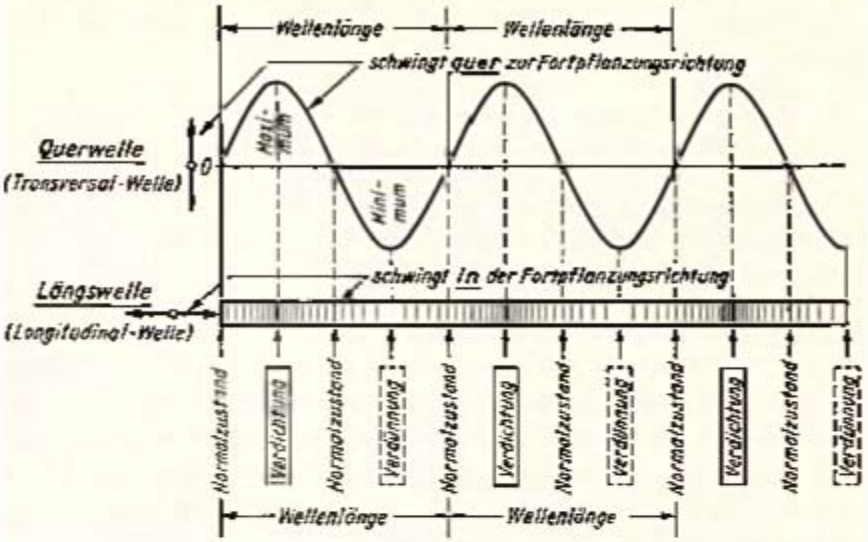



Bild 115. Vergleich zwischen Querwellen und Längswellen

versalwellen), die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingen, Verdichtungen und Verdünnungen in der Bewegungsrichtung der Wellen (**Bild 115**).

**Schallabsorption,** siehe unter Raumakustik.

**Schallaufnahme,** siehe unter Magnetton, Lichtton, Schallplatte.

**Schallausbreitung.** Schall breitet sich kugelwellig aus. Eine reine Kugelwelle entsteht aber nur dann, wenn die Abmessungen der Schallquelle klein sind, gemessen an der abgestrahlten Schallwellen-Länge. In Gasen und Flüssigkeiten breitet sich der Schall in Form von Longitudinalwellen aus, in festen Körpern kann die Schallfortpflanzung sowohl mit longitudinalen als auch mit transversalen Wellen vor sich gehen.

**Schallband.** Das Schallband entspricht aufnahmetechnisch im allgemeinen der Schallplatte mit dem Unterschied, daß die Schallrillen geradlinig auf einem Bande (Kunststoff) anstatt spiralig auf einer runden Platte angeordnet sind. Die Tonspur

ist weder optischer noch magnetischer, sondern mechanischer Art wie bei der Schallplatte.

**Schallbeugung**, Umlenken des Schalls an scharfen Kanten. Die Beugung wird mit abnehmender Frequenz größer.

**Schallbrechung**, plötzliche Änderung der Schallausbreitungsrichtung an der Trennfläche zweier verschiedener Medien, mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten.

**Schalldämmung.** Die Bauakustik will u. a. das unerwünschte Eindringen störenden Schalles in das Innere von Gebäuden durch eine schalldämmende Bauweise verhindern. Maß für die Schalldämmung ist (bei zwei Räumen) das logarithmische Verhältnis der Schallintensität in dem Raum mit der Schallquelle zu der Schallintensität in dem Raum, in den der Störschall eingedrungen ist. Einheit ist das Dezibel.

**Schalldichte** ist in stehenden Wellen der zeitliche Mittelwert der Schallenergie je Raumeinheit in $cm^3$. Einheit der Schalldichte E ist

$$1\ \frac{erg}{cm^3} = 10^{-7}\ \frac{cm^3}{Watt \cdot sec}$$

**Schalldruck** ist der durch Schallschwingungen hervorgerufene Wechseldruck je Flächeneinheit, gemesen in Mikrobar (µbar).

In nachfolgender **Tabelle** sind Schalldruckwerte einiger Schallquellen aufgeführt (Mittelwerte); die entsprechende Schallleistung ist hinzugefügt:

| Schallquelle | Entfernung in m | Schalldruck in µbar | Schalleistung in Watt |
|---|---|---|---|
| Sprache mit normaler Stimme | 1 | 1 | 0,02 |
| Klavier | 3 | 2,6 | 0,27 |
| Trompete | 1 | 6,6 | 0,3 |
| Kleines Orchester | 2...10 | 6 | 5 |
| Großes Orchester | 5...15 | 4,6 | 67 |
| Orgel | 5 | 20 | 12,5 |

**Schalldynamik.** Der bei elektroakustischen Anlagen und im einzelnen bei ihren Übertragungsgliedern praktisch zu erzielende Lautstärkenbereich, der noch genügend störungsfrei wiedergegeben werden kann, wird mit Dynamik bezeichnet (siehe dort).

**Schallempfindung** siehe unter Physiologische Akustik.

**Schallfluß** ist das Produkt aus Schallschnelle und Strömungsquerschnitt.

**Schallgeschwindigkeit**, Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls; sie hängt von dem jeweils vorhandenen Medium ab. Sie wird in m/sec angegeben und ist das Produkt aus Frequenz (Hz) und Wellenlänge (m).

*Schallgeschwindigkeit in gasförmigen Körpern bei 20° C in m/sec*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Kohlendioxyd | 260 | (Wasserdampf | 410) |
| Sauerstoff | 316 | Leuchtgas | 450 |
| Luft | 340 (bei 0 °C 332 m/sec) | Helium | 971 |
| Stickstoff | 338 | Wasserstoff | 1305 |

*Schallgeschwindigkeit in flüssigen Körpern bei 20° C in m/sec*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Benzin | 1160 | Petroleum | 1400 | Meerwasser | 1510 |
| Alkohol | 1200 | Wasser (rein) | 1485 | | |

*Schallgeschwindigkeit in festen Körpern bei 20° C in m/sec*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gummi (weich) | 40... 50 | Papier | 2000...2100 | Kupfer | 3500 |
| Kork | 430... 530 | Gold | 2100 | Marmor | 3810 |
| Paraffin | 650 | (Eis bei 0°C) | 2100) | Granit | 3950 |
| Blei | 1300 | Silber | 2675 | Eisen | 4900...5200 |
| Hartgummi | 1500...1570 | Tannenholz | 3320 | Stahl | 4990 |
| Beton | 1660 | Eichenholz | 3380 | Aluminium | 5105 |
| Hanfschnur | 1800 | Buchenholz | 3400 | Glas | 5200 |
| | | Messing | 3480 | | |

Die Temperatur beeinflußt die Schallgeschwindigkeit. Für die Fortpflanzung des Schalls in der Luft gelten folgende Werte:

| Temperatur | Schallgeschwindigkeit m/sec | Temperatur | Schallgeschwindigkeit m/sec |
|---|---|---|---|
| — 10° C | 330 | + 30° C | 350 |
| 0° C | 332 | + 100° | 390 |
| + 10° C | 337 | + 500° | 550 |
| + 20° C | 343 | + 1000° | 700 |

**Schallhärte** ist das Verhältnis des Schalldruckes zum Schallausschlag.

**Schallintensität** = Schallstärke (siehe diese).

**Schalleistung** ist die Energie, die in der Zeiteinheit durch eine beliebige Fläche strömt. (Schalleistung von Musikinstrumenten, siehe diese.)

**Schallpegel, Schalldruckpegel.** Definition: Zwanzigfacher Wert des Logarithmus' des Verhältnisses Schalldruck/Bezugsschalldruck, ausgedrückt in dB.

**Schallpegelmesser**, aus Meßverstärker und -mikrofon bestehendes Gerät zur Messung des Schallpegels. Die Anzeige erfolgt an einem in dB geeichten Instrument. Typischer Frequenzbereich: 10 bis 20 000 Hz, Anzeige: 20 bis 160 dB.

**Schallplatte.** Im folgenden sind die wesentlichen Begriffe aus der Schallplattentechnik alphabetisch geordnet zusammengestellt.

*Allgemeines.* Schallrillen werden durch einen in Achsrichtung seitlich geführten Schneidstichel in das Aufnahmematerial bei bestimmter konstanter Umdrehungszahl eingraviert. Wellige Rillen entstehen durch Stichelauslenkungen, hervorgerufen durch elektromagnetische Beeinflussung des mit dem Schneid-

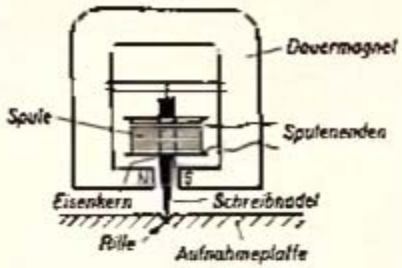



Bild 116. Schreibdose in schematischer Darstellung (elektromagnetisches System)

stichel verbundenen Ankers. Die Erregerspule (des Tonschreibers), die den Anker umgibt (**Bild 116**), erhält die elektrischen tonfrequenten Schwingungen zugeführt. Die Welligkeit der in das Rillenmaterial der Aufnahmeplatte eingravierten Rillen entspricht der jeweiligen Stärke und Frequenz des zugeführten Elektroschalls. Heute wird allgemein das *Seitenschrift*-Verfahren angewandt *(Berliner Schrift)* gegenüber der ursprünglichen *Tiefenschrift. (Edisonschrift)*, bei der sich die Rillentiefe mit den tonfrequenten Schwankungen ändert.

Früher wurde als Aufnahmematerial eine dicke Wachsplatte benutzt; bei heutigen Verfahren werden widerstandsfähigere und handlichere Lackplatten verwendet. Der aufgenommene Schall könnte nach Verstärkung dem Tonschreiber direkt zugeführt werden, wie es bei den älteren Verfahren geschah. Heute zieht man es vor, zunächst eine Tonbandaufnahme zu machen und dann den Bandinhalt zur Beschriftung der Aufnahmeplatte zu benutzen. Das hat eine Reihe von Vorteilen; unter anderem kann der Rillenabstand beim Überspielen auf bequeme Weise geregelt werden. Das Band wird an zwei Aufnahmeköpfen des Magnettongerätes vorbeigeführt; die am ersten Kopf verfügbare Spannung wird zum Regeln des Rillenabstandes, die am zweiten zur eigentlichen Schallaufzeichnung benutzt. Nachträgliche Korrekturen lassen sich leichter einfügen: Löschen unbefriedigender Partien und ihre Neuaufnahme.

Die einmal geschnittene Platte läßt sich als Positiv nicht zur Vervielfältigung verwenden. Deshalb wird die Plattenoberfläche, nachdem sie mit einem elektrisch leitenden Überzug versehen wurde, auf galvanischem Wege verkupfert und metallisch verstärkt. Die so entstandene *Vater*-Platte ließe sich

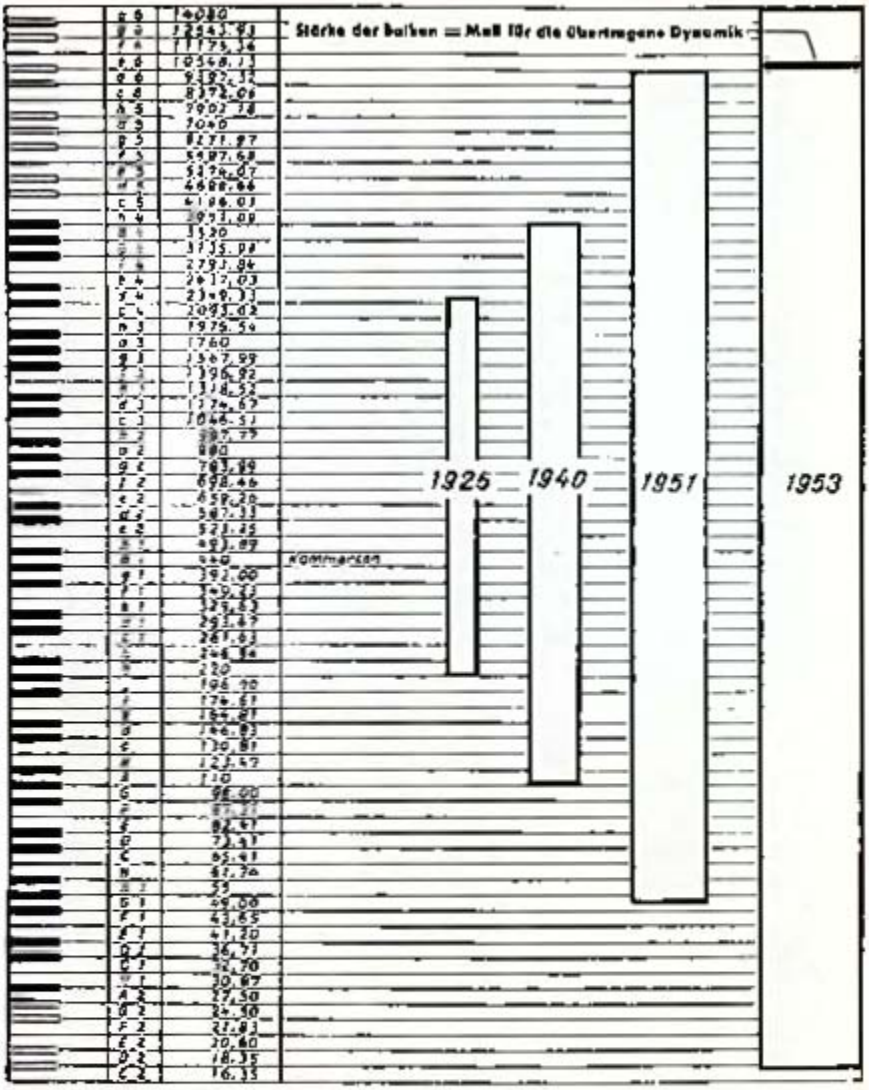



Bild 117. Entwicklung der Phonotechnik

als Negativ (erhabene Schrift) zwar zum Pressen weiterer Platten verwenden, sie wäre aber als Original-Preßplatte nur ein einziges Mal vorhanden. Daher wird eine weitere Platte, die Mutter-Platte (Positiv), unter Verwendung der Vater-Platte

hergestellt. Sie dient dazu, den *Sohn* als letztes Glied (Negativ mit erhabener Rillenschrift) anzufertigen. Der Sohn endlich wird zum Pressen der für den Handel erhältlichen Exemplare benutzt.

Zur Schallplattenwiedergabe werden *Tonabnehmer* benützt. Prinzip: Eine von den Plattenrillen geführte Nadel überträgt die aufgezeichneten Schallschwingungen auf einen elektroakustischen Wandler, der die mechanischen Schwingungen in Spannungen umsetzt. Es gibt eine ganze Reihe solcher Wandler, die man auch als *Tonabnehmersystem* bezeichnet. (Beschreibung der benutzten Systeme folgt unter Begriffsbestimmungen.)

Die Darstellung **Bild 117** gibt eine Übersicht der zwischen den Jahren 1925 und 1953 erzielten Verbesserung der Wiedergabe. Die Länge der waagerechten Streifen entspricht der jeweils erreichten Wiedergabefrequenz-Bandbreite. An der Stärke der Streifen kann man die Verbesserung des Dynamikumfangs ersehen.

Begriffsbestimmungen:

*Abtaster*, siehe Tonabnehmer.

*Abtastnadel.* Die Nadel muß der Rillenform angepaßt sein. Da die Rillen der Normalspielplatten anders gestaltet sind als die der Langspielplatten (**Bild 118**), muß der Tonabnehmer mit zwei Nadeln versehen sein, die entsprechend zur Anwendung gelangen.

Für Stereo-Platten mit einem von den Langspielplatten etwas abweichenden Rillenquerschnitt müssen besonders geformte Nadeln Verwendung finden; man hat jedoch eine Kompromiß-

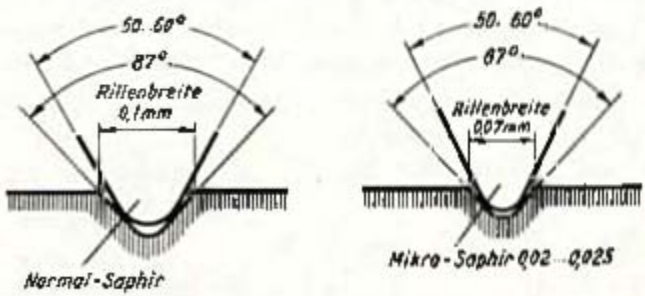



Bild 118. Form der Rillen und Abtastnadeln bei Normalspiel- und Langspielplatten

lösung vorgezogen und der Abspielnadel eine Form gegeben, die sowohl zur Abtastung von Monorillen als von Stereo-Rillen verwendbar ist.

*Akustische Rückkopplung* (Plattenspieler). Rückwirkung des Lautsprechers auf das Tonabnehmersystem über die Luft oder durch Körperschall. Beim Überschreiten eines gewissen Maßes tritt Selbsterregung auf, die sich durch tieffrequentes Poltern äußert.

*Auflagekraft* von Tonabnehmern:

bei Normal-Rillenplatten: nicht über 25 p (pond)
bei Mikro-Rillenplatten: (obere Grenze) 10 p
bei Pico-Rillen: (obere Grenze) 2 p
bei Stereo-Platten: (obere Grenze) 5 p

*Auslenkung* (Rillenauslenkung). Abweichung vom Rillenverlauf im unmodulierten Zustand.

*Automatische Kopplung*. Vermerk, den man bei Schallplattenserien findet, also dort, wo zur Aufnahme längerer Darbietungen mehrere Platten erforderlich sind. Die Fortsetzung von der Vorderseite folgt nicht auf der Rückseite der ersten Platte, sondern auf der Vorderseite der zweiten, gegebenenfalls auch noch auf der Vorderseite der dritten Platte. Der Anschluß an den Inhalt der Vorderseite der letzten Platte folgt auf der Rückseite der gleichen Platte usw. Die automatische Kopplung wird für die Verwendung von Mehrfachplattenspielern vorgesehen, so daß der Stoß der in richtiger Reihenfolge aufeinandergelegten Platten nach dem Abspielen geschlossen umgewendet und wieder aufgelegt werden kann. Bei z. B. drei Platten ergibt sich folgende Etikettenbeschriftung mit Nummern: erste Platte Vorderseite 1, erste Platte Rückseite 6; zweite Platte Vorderseite 2, Rückseite 5; dritte Platte Vorderseite 3, Rückseite 4.

Bei der „normalen" Kopplung folgt jedesmal auf den Vorderseiteninhalt der Rückseiteninhalt.

*Compliance*, Wertbegriff für die Nachgiebigkeit der Nadel bzw. für die Weichheit der Nadellagerung. Die optimale Auflagekraft wird von der C. beeinflußt.

*Dynamik*. Wird als das Verhältnis der größten Aussteuerung zum Rauschpegel ausgegeben (in dB) oder als Spannungsverhältnis: 40 dB etwa gleich 100:1 für mittlere Plattenqualität

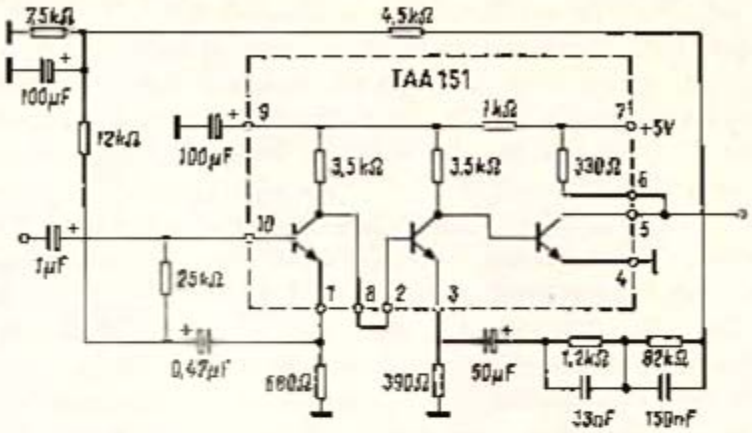



Bild 119. Tonabnehmerentzerrer (Siemens)

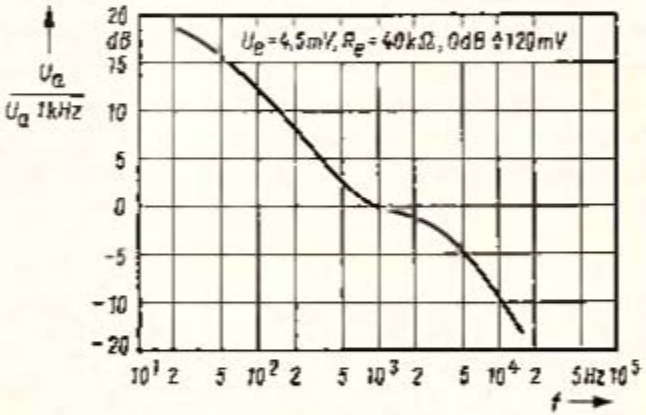



Bild 120. Frequenzgang des Entzerrers Bild 119, bezogen auf 1000 Hz

(Normalrillen), 50 dB gleich etwa 320:1 für sehr gute Platten (Mikrorillen).

Entzerrer gleichen die Vorverzerrungen aus, mit denen die Platte geschnitten wurde. Es handelt sich dabei immer um *aktive Entzerrer*, weil – wegen der geringen abgegebenen Spannungen der Systeme – noch zusätzliche Verstärkung erforderlich ist. **Bild 119** zeigt einen solchen Entzerrer, aufgebaut mit einer integrierten Schaltung (Siemens). In **Bild 120** ist der Frequenzgang des Entzerrers dargestellt, bezogen auf 1000 Hz.

*Flutter*, Bezeichnung aus dem Englischen für schnelle, periodisch wiederkehrende Tonschwankungen bei der Wiedergabe von Schallplatten (bei guten Laufwerken weniger als 0,1 %).

*Geschwindigkeits-Amplitude*, höchster Augenblickswert der Schnelle, d. h. der Geschwindigkeit der Nadelkuppen-Querbewegung.

*Hi-Fi-Plattenspieler*. Hochwertiges Gerät zur Wiedergabe von Schallplatten, mit besonderen Konstruktionsmerkmalen zur Erzielung von Rumpelfreiheit und zur absoluten Konstanthaltung der Drehzahl, die bei manchen Ausführungen in gewissen Grenzen regelbar ist. Plattenspieler dieser Geräteklasse sind für höchsten Bedienungskomfort ausgelegt; z. B. automatisches Aufsetzen des Tonarms, Abschalten in der Auslaufrille der Platte, Abheben und Rückführen des Tonarms auf die angebrachte Stütze. Geschwindigkeit und Aufsetzautomatik sind für alle Plattengrößen bzw. -arten einstellbar. Es gelangen fast ausschließlich elektromagnetische oder elektrodynamische Abtaster zur Verwendung. Einstellbare Auflagekraft und Antiskating-Vorrichtung sind selbstverständlich für diese Bauart. **Bild 121** zeigt ein typisches Ausführungsbeispiel (Dual, Typ 1219).

Bild 121. HiFi-Plattenspieler (Dual, Typ 1219)

*Klemmeffekt.* Die Rille wird mit zunehmender Aussteuerung und höheren Frequenzen enger. Die kugelförmige Abtastspitze weicht dann nach oben aus: sie wird geklemmt; Folge: senkrechte Bewegung des Abtasters.

*Lichtbandbreite.* Optisches Meßverfahren zur Beurteilung von Tonaufzeichnungen: Läßt man parallele Lichtstrahlen schräg auf eine Schallplatte auffallen, dann werden die Lichtstrahlen an den Rillenwänden reflektiert. Es entsteht der Eindruck eines schmaleren oder breiteren Lichtbandes. Die Breite dieses Lichtbandes ist ein Maß für die aufgezeichnete Auslenk-Geschwindigkeit. Das Lichtband erscheint um so breiter, je größer die zu erwartende Lautstärke ist. Da sie unabhängig vom Radius der jeweiligen Rillenspur ist, kann sie als direktes Maß Verwendung finden.

*Lineargeschwindigkeit.* Die Lineargeschwindigkeit, mit der sich der Aufzeichnungsstichel oder die Nadel bei der Wiedergabe bewegt, ist nicht konstant. Sie ist abhängig von dem Durchmesser der Tonrille. Bei 78 U/min z. B. beträgt die Lineargeschwindigkeit einer Tonrille von 10 cm Durchmesser 40 cm/sec und die einer Tonrille von 30 cm Durchmesser 120 cm/sec.

*L. P. = Long Play*, Kurzbezeichnung aus dem Englischen für Langspielplatte.

*Mono-Platte*, einkanalig bespielte Schallplatte.

*Normale Kopplung*, siehe unter automatische Kopplung.

*Normalspielplatte*, Schellackplatte für 78 U/min. Die Bezeichnung ist älteren Datums und stammt aus einer Zeit, in der die Langspielplatten mit 33⅓ U/min entstanden. Inzwischen sind diese bzw. die Platten mit 45 U/min praktisch zu Normalspielplatten geworden, doch die alte Benennung blieb bestehen (siehe auch Plattenarten).

*Normen der Schallplattentechnik.* DIN 45 500, Blatt 3 (Mindestanforderungen), DIN 45 536 bis 539, 45 546, 45 547. Zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln.

*Pico-Rillen.* Rillen der Platten mit 16⅔ U/min. Die geringere Rillenbreite läßt bei der kleinen Umdrehungszahl den Frequenzumfang von Mikrorillen-Platten mit 45 U/min nahezu erreichen.

*Plattenarten.* Nach dem Material unterscheidet man Schellackplatten, wenn man diese älteren, heute nicht mehr hergestellten Platten mit hinzunehmen will, und Platten aus Kunststoff, Polyvinylchlorid, Polystyrol, Vinilyd, usw. Nach der Umdrehungsgeschwindigkeit beurteilt, gibt es die älteren Platten mit 78 U/min, ferner die Platten mit 45 U/min, 33⅓ U/min und 16⅔ U/min, nach der Rillenbreite die älteren Normalrillenplatten (78 U/min), Mikrorillenplatten (33⅓ U/min) und Mikrorillenplatten (16⅔ U/min); nach dem Durchmesser unterscheidet man zwischen 30-cm-, 25-cm- und 17-cm-Platten und schließlich wird unterschieden zwischen Mono- und Stereo-Platten.

*Plattenrauschen.* Abhilfe: Heruntersetzen der oberen Grenze des Wiedergabe-Frequenzbandes (unter Verzicht auf die hohen Tonfrequenzen).

*Rhein'sches Füllschrift-Verfahren.* Jede Rille schmiegt sich dem Verlauf der voraufgegangenen (den größeren oder kleineren Auslenkungen) an, so daß der Platteninhalt vergrößert wird (**Bild 122**).

Bild 122. Rillenband bei einer nach dem Füllschriftverfahren aufgenommenen Langspielplatte

*Rillenform.* Gegenüber den alten Schellackplatten ist die Rillenform moderner Langspielplatten völlig anders ausgebildet (siehe auch Bild 119). Die Abtastnadel muß der Rillenform angepaßt sein (mechanische Umschaltung auf die entsprechende Nadel am Tonabnehmerkopf oder Verwendung verschiedener Tonabnehmerköpfe).

*Rückstellkraft.* Die Kraft, die die Abtastnadel den seitlichen Auslenkungen entgegensetzt. Man unterscheidet zwischen sta-

tischer und dynamischer Rückstellkraft; erstere wird aus der Ruhelage, letztere aus der Bewegung der Nadelspitze heraus gemessen. Die Auflagekraft hängt von der Rückstellkraft ab. Die Rückstellkraft darf im Verhältnis zur Auflagekraft nicht zu groß sein, denn sonst wird die Nadel aus der Rille gedrückt.

*Rumpelgeräusche* sind auf Unzulänglichkeiten des Laufwerks zurückzuführen; sie dürfen bei guten Plattenspielern nicht in Erscheinung treten. Der Antriebsmotor läuft z. B. nicht ruhig, Erschütterungen gelangen über den Plattenteller (bzw. über den Tonarm) zum Abtaster [Tonabnehmer] und rufen in ihm neben den gewollten, durch die Nadelbewegungen erzeugten Spannungen Störspannungen hervor, die sich im Lautsprecher als Rumpeln äußern. Sie können durch *Rumpelfilter* unterdrückt werden, wobei aber gleichzeitig die tiefen Töne der Aufzeichnung entfallen.

*Single.* Aus dem Englischen übernommene Kurzbezeichnung für 45 U/min Platten. Der Ausdruck „single" bedeutet „einzel" und wird in diesem Zusammenhang benutzt, um anzudeuten, daß diese Plattenart pro Seite nur ein Musikstück enthält.

*Skoting.* Ausdruck aus dem Englischen, der die Kraft bezeichnet, die von der Nadel eines Tonabnehmers auf die innere Rillenflanke ausgeübt wird (siehe auch unter Antiskating-Device).

*Stereo-Platten* siehe unter Stereofonie.

*Stroboskopische Scheibe* dient zur Kontrolle der Umlaufgeschwindigkeit von Schallplatten: radial angeordnete schwarze und weiße Felder (Striche, Streifen). Während der Scheibendrehung scheinen sie – von einer Wechselstromlichtquelle (50 Hz) beleuchtet – stillzustehen, wenn ihre Zahl einer bestimmten Umdrehungszahl entspricht.

Zur Berechnung der erforderlichen Streifenzahl S dient folgende Formel:

$$S = \frac{\text{Frequenz} \cdot 2 \cdot 60}{\text{U/min}}$$

z. B. bei 50 Hz Netzfrequenz:

$$S = \frac{50 \cdot 2 \cdot 60}{\text{U/min}}$$

Die 2 im Zähler rührt daher, daß die Lichtquelle zweimal in der Sekunde ihren Höchstwert hat; Multiplikation mit 60 wegen der Umdrehungszahl in Minuten.

Bei zu großer Umdrehungszahl laufen die Streifen scheinbar langsamer oder schneller vorwärts, bei zu geringer Drehzahl rückwärts.

*Technische Schallplatten.* Die Deutsche Grammophon-Gesellschaft produziert eine Reihe technischer Platten, von denen die wichtigsten im folgenden angeführt sind.

| | |
|---|---|
| 22 941 NH | (45 U/min) Zur Erprobung und Einstellung von Plattenwechslern. |
| 22 942 NH | (45 U/min) Meßplatte für Gleichlaufschwankungen. |
| 22 943 NH | (45 U/min) Schneidkennlinie 20...16 000 Hz. |
| 22 944 NH | (45 U/min) Meßplatte für Gleichlaufschwankungen (3000 Hz). |
| 22 945 NH | Meßplatte für Gleichlaufschwankungen. DIN-Meßfrequenz 3150 Hz. |
| 99 008 TMe | (33⅓ U/min) Meßplatte für Gleichlaufschwankungen (5000 Hz). |
| 99 009 TM | (33⅓ U/min) Schneidkennlinie 20...16 000 Hz. |
| 99 010 TMe | (33⅓ U/min). Meßplatte für Gleichlaufschwankungen. Meßrefquenz 3000 Hz. |
| 99 011 DM | (45 U/min) 30 cm Durchmesser. Meßplatte für Modulationsverzerrungen. |
| 99 012 TM | (33⅓ U/min). Meßplatte für Gleichlaufschwankungen. DIN-Meßfrequenz 3150 Hz. Umseitig Meßplatte für Störgeräusche des Laufwerks. |
| 99 102 STM | (33⅓ U/min). Schneidkennlinie in Stereoflankenschrift. |
| 99 103 STM | (33⅓ U/min). Pegelmeßplatten für Stereo- und Monopegel. Meßfrequenz 1000 Hz. |
| 99 104 STM | (33⅓ U/min). Meßplatte für Klirr- und Modulationsverzerrungen bei Stereo-Tonabnehmern. |
| 99 105 STM | (33⅓ U/min). Schneidkennlinie in Flankenschrift, Frequenzbereich 16 Hz...30 Hz — Rückseite Prüfung der Stereo-Wiedergabeapparatur. Pegeltöne, Rumpel-, Lokalisations- und Phasentest-Aufzeichnungen. |

99 106 STM (33⅓ U/min). Stereo-Schneidkennlinie nach DIN 45 547. 16 000 bis 20 Hz mit gleitenden Übergängen.

99 107 STM (33⅓ U/min). Stereo-Schneidkennlinie in Festfrequenzen. — Rückseite Mono-Schneidkennlinie 16 000 bis 20 Hz, gleitende Übergänge.

Bei Telefunken-Decca stehen folgende Meßplatten zur Verfügung:

TST 72 212 Übersprech-Meßschallplatte zur Messung des Übersprechens von Stereo-Tonabnehmern.

TST 72 213 Stereo-Meßplatte zur Erstellung des Achsenkreuzes bei 1000 Hz.

TST 72 565 Stereo-Prüfplatte zur Serienmessung von Stereo-Tonabnehmerkapseln.

TST 72 681 Frequenz-Meßschallplatte.

TST 72 542 Stereo-Frequenz-Meßplatte.

TST 72 363 Stereo-Test, Musik, Geräusche und Meßfrequenzen zur Prüfung von Stereogeräten.

TST 74 430 Stereo-Testplatte, Musik und Geräusche zum Prüfen von Stereogeräten.

T 72 893 Plattenwechsler-Prüfplatte für die Wechselbereitschaft von Plattenwechslern und die Abstellbereitschaft von Plattenspielern.

*Tonabnehmer.* Bei den einzelnen elektroakustischen Wandlern, die für diesen Zweck benutzt werden, hat das piezoelektrische System die größte Verbreitung erlangt. **Bild 123** zeigt den schematischen Aufbau zweier verschiedener Kristallabtaster. Die Bewegungen der Nadel werden auf eine Kristallplatte übertragen. Die während des Abspielens unter dem Einfluß der Nadelbewegungen entstehenden Kristallverbiegungen rufen Spannungsschwankungen hervor, die an einen Verstärker mit anschließendem Lautsprecher weitergegeben werden. Die eigentliche Abtastung erfolgt durch besonders zugeschliffene Saphir- oder Diamantnadeln. Für höhere Ansprüche (z. B. Hi-Fi-Anlagen) werden magnetische oder dynamische Systeme bevorzugt. Bei ersterer Bauart (**Bild 124**) ist die Nadel mit einer eisernen Zunge verbunden, deren Bewegungen in

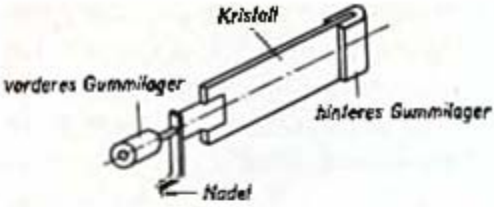
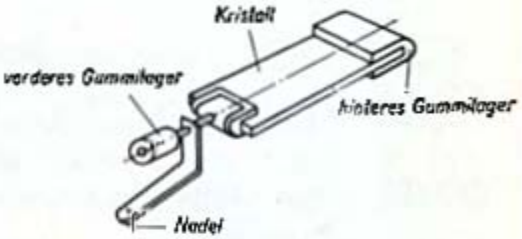



Bild 123. Schema zweier verschiedener Kristallabtaster



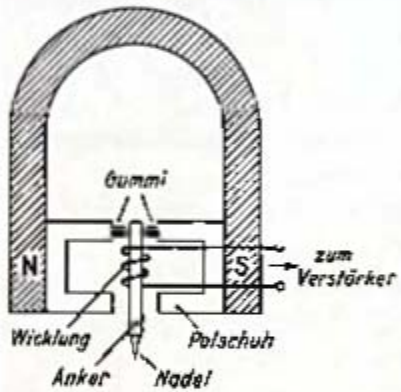




Bild 124. Schematische Darstellung eines elektromagnetischen Tonabnehmers

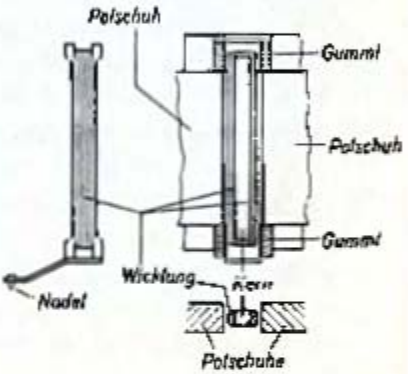



Bild 125. Schema eines dynamischen Abtasters

einer fest angebrachten Spule Spannungen hervorrufen. Die abgegebene Spannung beträgt nur wenige Millivolt, so daß ein zusätzlicher Vorverstärker erforderlich ist. Dieser Vorverstärker arbeitet meist gleichzeitig als Entzerrer.

Bei elektrodynamischen Systemen wird eine kleine Spule von den Auslenkungen der Nadel bewegt, die sich in einem starken homogenen Magnetfeld befindet (**Bild 125**). Die auf diese Weise in der Spule induzierten Spannungen sind den Nadelbewegungen proportional. Auch bei dieser Bauart wird ein separater Vorverstärker benötigt.

*Umdrehungszahl* von Schallplatten, siehe unter Plattenarten.

*Upm* bedeutet „Umdrehungszahl per Minute", besser: U/min.

*Wow.* Bezeichnung aus dem Englischen für langsame, periodisch wiederkehrende Tonschwankungen (bei guten Geräten weniger als 0,2 %).

**Schallreflexion.** Schallwellen werden ähnlich wie Lichtwellen reflektiert (übrigens auch wie diese gebrochen). Der Schall wird durch Beugung stärker beeinflußt. Beugung tritt dann auf, wenn die Wellenlänge vergleichbar groß zu den in Betracht kommenden Körpermaßen ist, mit anderen Worten: Um Schallschatten zu liefern, muß ein Gegenstand viel größer sein als für die Erzeugung entsprechender Lichtschatten. Trifft eine Schallwelle senkrecht auf ein Hindernis, so wird sie mit geringem Amplitudenwert zurückgeworfen. Bei einer *Amplitude A* verkleinert sich diese bei der Reflexion um einen gewissen Wert, der durch den Reflexionsfaktor *k* (der immer kleiner als 1 ist) bestimmt wird.

Der *k*-Wert einiger Medien geht aus folgender Aufstellung hervor:

| Medium | *k* bei senkrechtem Einfall | Medium | *k* bei senkrechtem Einfall |
|---|---|---|---|
| Glatte Steinwand | 0,95 | Stoffbespannte Wand | ca. 0,50 |
| Wasseroberfläche | 0,95 | Stoffdraperie (faltig) | 0,20 |
| Glatte Holzwand | ca. 0,90 | Waldrand | 0,15 |

**Schallschluckstoffe** siehe unter Raumakustik.

**Schallschnelle.** Die Schallschnelle gibt die Geschwindigkeit an, mit der ein Masseteilchen hin- und herschwingt (nicht mit der Schallgeschwindigkeit zu verwechseln). Die Schallschnelle ist groß, wenn der Schalldruck groß ist, und klein, wenn das Medium dem Schalldruck einen großen Widerstand entgegensetzt.

**Schallsender.** Alle Schallerzeuger, z. B. Musikinstrumente, Stimmgabeln, Pfeifen, Sirenen, Stimmorgane, aber auch Kopfhörer und Lautsprecher.

**Schallstärke** (Schallintensität) ist in fortschreitenden Wellen die Schallenergie, die in der Sekunde durch die Flächeneinheit 1 cm² strömt. Einheit der Schallstärke ist

$$1 \frac{\text{erg}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^2} = 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Die Schallstärke wächst im Quadrat mit dem Schalldruck an. Zur Verdopplung der Schallstärke ist die vierfache, zur Verdreifachung die neunfache Leistung erforderlich. – Schallstärke nicht zu verwechseln mit Lautstärke; erstere ist eine objektive Meßgröße, letztere eine subjektive Empfindungsgröße.

**Schalltoter Raum,** siehe unter Nachhall.

**Schallwand,** siehe unter Lautsprecher.

**Schallwandler,** Anordnung zur Wandlung elektrischer oder mechanischer Leistung in akustische Leistung (siehe auch unter „elektroakustische Wandler"].

**Schallwellen,** siehe unter Schall.

**Schluckgrad,** siehe unter Raumakustik, Absorption.

**Schnelle,** siehe bei Geschwindigkeitsamplitude unter Schallplatte.

**Schweller, Schwellpedal,** Lautstärkesteller an elektronischen Orgeln, der mittels Pedal betätigt wird.

**Schwingungszahl,** siehe unter Frequenz.

**Seitenschrift,** siehe unter Schallplatte.

**Sexte,** sechste Stufe der diatonischen Tonleiter. Man unterscheidet kleine, große und übermäßige S. Im allgemeinen beträgt – bei harmonischer Stimmung – das Frequenzverhältnis große S/Grundton 5:3.

**Signal/Rauschverhältnis,** Verhältnis Signal/Rauschspannung, ausgedrückt in dB oder Neper.

**Silbenverständlichkeit,** siehe unter Verständlichkeit.

**Sinusleistung,** Begriff aus der Verstärkertechnik. Siehe unter Verstärker.

**Sinustöne,** reine tonfrequente Schwingungen mit sinuskurvenförmigem Verlauf (lassen sich durch elektronische Musikinstrumente erzeugen).

**Sone,** Lautheitsmaß, berücksichtigt subjektive Empfindung.

**Sopran,** höchste Singstimme, auch als Diskant bezeichnet.

**Sprache-Musik-Schalter,** Einrichtung an Verstärkern zur Absenkung der Bässe. Diese Maßnahme bewirkt verbesserte Sprachverständlichkeit.

**Sprechkopf,** siehe unter Magnetton.

**Sprechleistung,** anderer Ausdruck für Ausgangsleistung eines Verstärkers.

**Sprossenschrift,** siehe unter Lichtton.

**Stereobalance,** siehe unter Stereofonie.

**Stereofonie.** *Raumschall,* aus verschiedenen Richtungen vom Hörer aufgenommenes Schallereignis, mit ausgeprägten Richtungseffekten und bemerkenswerter Durchsichtigkeit des Klang-

bildes. Schallplatten, Tonbänder und UKW-Rundfunk sind zur Wiedergabe stereofonischer Darbietungen geeignet.

Alle derartigen Verfahren setzen die Verwendung von zwei oder mehreren Aufnahme- und Wiedergabekanälen voraus, weil ein räumlicher oder plastischer Höreindruck nur durch zweiohriges Hören entstehen kann. Mit anderen Worten, es sind wenigstens zwei separate Kanäle erforderlich (rechts und links), so daß für beide Ohren getrennte Übertragungswege gebildet werden.

In der Stereofonie wird für die Aufnahmetechnik zwischen zwei Verfahren unterschieden:

a) Anordnung zweier Mikrofone im Kopfabstand, deren Richtcharakteristik der des menschlichen Ohres ähnelt. Die geforderte Trennung beider Kanäle ist damit gegeben. In diesem Fall handelt es sich um reine *Intensitätsstereofonie*, d. h. etwaige Laufzeitunterschiede zwischen Schallquelle und Schallempfänger werden nicht wiedergegeben.

b) Benutzung von zwei oder mehreren, in größerem Abstand voneinander aufgestellten Mikrofonen, die sich — entweder durch geeignete Richtcharakteristik oder durch Anbringung einer nicht reflektierenden Wand – gegenseitig nicht beeinflussen können. Bei dieser Methode benutzt man häufig pro Kanal zu Gruppen zusammengefaßte Mikrofone. Neben den erwähnten Intensitätsunterschieden sind auch wiedergegebene Laufzeitdifferenzen zur Erzielung eines befriedigenden Stereoeffektes von großer Bedeutung. Die zuletzt beschriebene Aufnahmetechnik bietet die Voraussetzung zur Erfassung beider Eigenarten der Schallübertragung.

Im technischen Sprachgebrauch wird zwischen normaler und stereofonischer Wiedergabe unterschieden. Die erstere wird mit *monaural* oder *einkanalig* bezeichnet, die stereofonische im Gegensatz dazu mit *binaural* oder *zweikanalig*.

Bei dem monauralen Schallaufnahmeverfahren wird nur ein Mikrofon verwendet, bzw. eine Mikrofongruppe. Der aufgenommene und in elektrische Schwingungen umgesetzte Schall wird über eine Leitung und einen Verstärker weitergegeben und dem Aufnahmegerät zugeführt. Die Schallplatte oder das bespielte Tonband wird über einen Verstärker und über einen

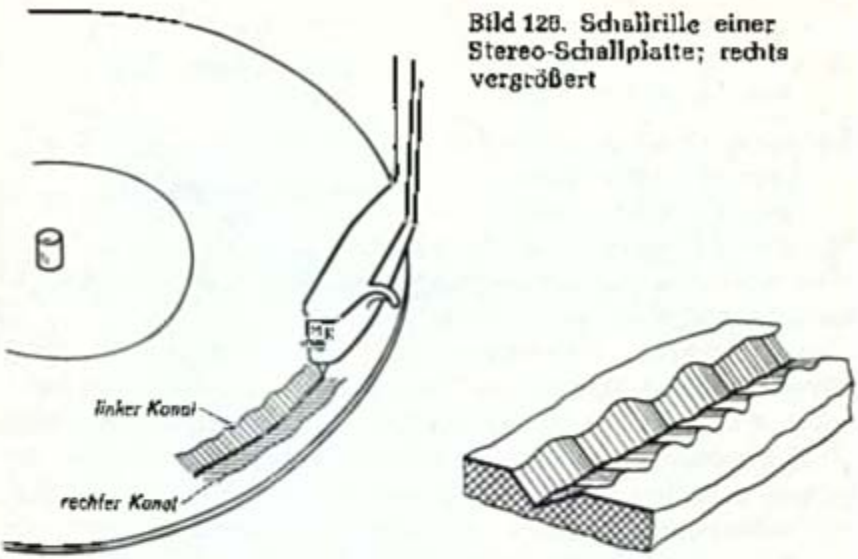



Bild 126. Schallrille einer Stereo-Schallplatte; rechts vergrößert

Lautsprecher (bzw. eine Lautsprechergruppe) wiedergegeben. Bei stereofonischen Anlagen werden elektrisch voneinander getrennte Mikrofone benutzt (zwei elektrische Ohren), welche die tonfrequenten Schwingungen über je eine Leitung zu je *zwei* Verstärkern weitergeben (*zwei*kanaliges System). Die verstärkten Tonschwingungen gelangen getrennt zum Aufnahmegerät. Die Tonbandapparatur zeichnet in *zwei* Spuren auf. Die Schallplatte wird theoretisch in zwei Rillen beschriftet, praktisch in einer, von der die rechte Flanke die Schwingungen aus dem einen Kanal, die linke die aus dem anderen enthält. Das Abspielen der Schallplatte geht so vor sich, daß mit einem besonderen Abtaster der Inhalt der einen Flankenschrift einem Kanal zugeführt wird, der Inhalt der anderen dem zweiten Kanal (**Bild 126**). Anschließend sind *zwei* Verstärker und *zwei* im geeigneten Abstand voneinander aufgestellte Lautsprecher erforderlich. Bei stereofonisch bespielten Tonbändern werden die beiden Spurinhalte ebenso getrennten Verstärkern und Lautsprechern zugeführt.

Spurlage bei Doppelspur:
Spur I: linker Kanal
Spur II: rechter Kanal
(in gleicher Laufrichtung).

Spurlage bei Vierspur:
Spur I: linker Kanal
Spur III: rechter Kanal (in gleicher Laufrichtung).

Nach dem Wenden der Spule:
Spur IV: linker Kanal
Spur II: rechter Kanal (in gleicher Laufrichtung).

(Vgl. Bild 64 Spurlage und Spurbreite.)

Im folgenden sind einige Begriffe aus dem Gebiet der Stereofonie (alphabetisch geordnet) erläutert.

*AB-Stereofonie*, Übertragung mit Hilfe von zwei im Ohrabstand aufgestellten Mikrofonen. Siehe auch MS-Stereofonie.

*Balance-Regler*, an Stereoverstärkern angebrachter Einsteller zum Lautstärkeausgleich der Wiedergabelautsprecher. Zur Erzielung eines einwandfreien Stereoeffektes ist es erforderlich, daß beide Lautsprecher bzw. beide Lautsprechergruppen pro Kanal die gleiche Schalleistung abstrahlen.

*Basis, Basisbreite*, Entfernung der beiden Lautsprecher bzw. der beiden Lautsprechergruppen voneinander. Dieser Abstand ist von großer Bedeutung für einen optimalen Stereoeffekt. Zu geringe wie auch zu große Abstände bringen die erwünschte Stereowirkung nahezu zum Verschwinden.

*CL = Command Label;* Marke für Schallplatten mit verstärktem Links-Rechts-Stereo-Effekt.

*Compatible* Schallplatten: Stereo-Schallplatten, die auch monaural abgespielt werden können (compatible, engl., soviel wie für mehrere Zwecke verwendbar).

*Decoder*, siehe unter diesem Stichwort vorn im Lexikon.

*Effekt-Stereofonie*. Das aufgeteilte Orchester oder die sonst aufzunehmenden Schallquellen werden in größeren Abständen voneinander angeordnet und jede der Gruppen (bzw. Einzelschallquellen) getrennt aufgenommen.

*Hörfläche*. Die Raumteile, in denen sich bei der Wiedergabe ein stereofonischer Eindruck ergibt. Die Hörfläche richtet sich nach der Aufstellung der Lautsprecher und ihrer Schallabstrahlrichtung. Bei direkter Beschallung ergibt sich eine Hörfläche nach **Bild 127a**, bei indirekter eine solche nach Bild 127**b**.

*Intensitäts-Stereofonie*, ausschließliche Ausnutzung der Intensitätsunterschiede (Lautstärkeunterschiede). Kommt der

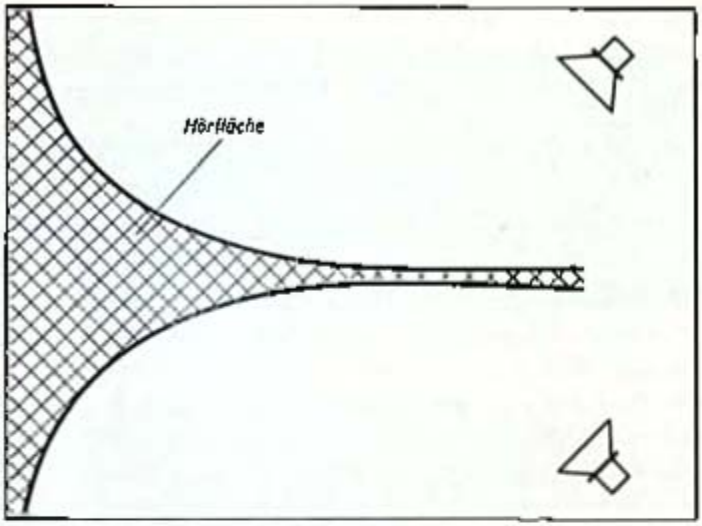



Bild 127a. Stereo-Hörfläche bei direkter Beschallung

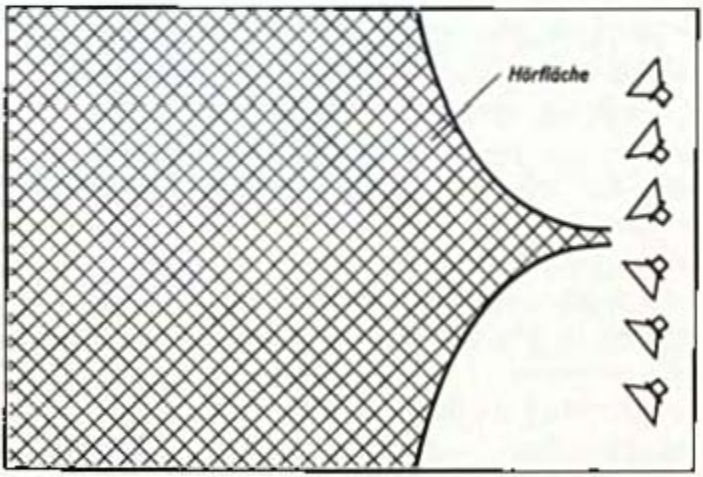



Bild 127b. Stereo-Hörfläche bei indirekter Beschallung

Schall z. B. von links, dann wird dieser über den entsprechenden Kanal besonders stark aufgezeichnet und bei der Wiedergabe vom linken Lautsprecher betont abgestrahlt.

*Knüppel-Stereofonie.* Wird der Inhalt einer Einkanalaufnahme durch Regler oder Überblender so auf verschiedene Lautsprecher verteilt, daß die räumliche Aufstellung der ursprünglichen Klangerzeuger nachgebildet ist, dann spricht man von

Knüppelstereofonie. Beispiel: Einkanal-Aufnahme eines Wechselgesprächs zwischen zwei Personen. Es wird so geregelt (geknüppelt), daß immer der eine Sprecher im linken, der andere im rechten Lautsprecher zu hören ist.

*Künstlicher Kopf*, Kopfnachbildung zur versuchsweisen Erzielung gleicher akustischer Verhältnisse wie beim normalen Kopf. Zwei Mikrofone sind im Ohrabstand (etwa 21 Zentimeter) angebracht. Der zwischen den Ohren liegende Körper bewirkt den normalen *Schallschatten*.

*MD* = Magic Dimension; Stereo-Aufnahme mit zusätzlicher Rauminformation.

*Mitten-Eindruck* ist der Eindruck, nach dem der Schall aus der Mitte zwischen den rechts und links aufgestellten Wiedergabelautsprechern kommt. Er entsteht, wenn beide Ohren den Schall von beiden Stellen gleichzeitig und gleichlaut aufnehmen.

*MS-Stereofonie*. Durch ein Mikrofon mit nierenförmiger Charakteristik wird der Mittelschall (M) aufgenommen. Ein zweites, an gleicher Stelle angebrachtes Mikrofon mit Achtercharakteristik nimmt den Seiten-Schall (S) auf.

*Multiplex-Signal*, siehe unter Decoder.

*Quadrofonie*. In den USA entwickeltes Stereoverfahren mit Aufteilung des wiederzugebenden Schallereignisses auf vier separate Kanäle.

*Störabstand*, Verhältnis zwischen störenden Nebengeräuschen und wiedergegebener Darbietung. Besonders bei sehr leisen Stellen ist ein großer Störabstand wichtig. Gute Werte sind 60 dB und mehr.

*Übersprechdämpfung*, Grad der Trennung zwischen den beiden Stereo-Kanälen. Je größer die Übersprechdämpfung ist, um so größer ist die Stereowirkung. Niedrigster Übersprechdämpfungswert 30 dB.

*Zweikanal-Verstärker*, Stereo-Verstärker, der aus zwei gleichartigen Verstärkereinheiten besteht. Eingänge für Mikrofon, Tonabnehmer (magnetisch), Tonabnehmer (Kristall), Radio, Tonband; Frequenzgang zwischen 20 Hz und 20 kHz vollkommen geradlinig, ± 1 dB. Ausgangsleistungen zwischen 2 x 6 W und 2 x 100 W sind gebräuchlich. **Bild 128** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines solchen Verstärkers (Grundig SV 200).

Bild 128. Moderner Stereoverstärker (Grundig)

Dieses Gerät ist für höchsten Bedienungskomfort ausgelegt. Als Besonderheiten seien genannt: Aussteuerungsanzeige für beide Kanäle, Schieberegler für Balance-, Lautstärke- und Klangsteller. Die letzteren sind für mehrere Teilfrequenzbereiche vorhanden, wobei Anhebung oder Absenkung möglich ist. Eine so weitgehende Klangregelmöglichkeit ergibt beste Anpassung der Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher an den jeweiligen Wiedergaberaum.

**Stimmgabel**, aus hochwertigem Material bestehende Tonnormale mit hoher Frequenzkonstanz.

**Stimmung, musikalische**, siehe unter Musik.

**Störabstand**, anderer Ausdruck für das Verhältnis Signalspannung/Nutzspannung, angegeben in dB.

**Strahlungsdämpfung**, Dämpfung der Eigenresonanz eines Lautsprechers, erzielt durch Einbau des Systems in ein entsprechend ausgelegtes Gehäuse. Siehe auch unter Lautsprechergehäuse.

**Strahlungswiderstand (Elektroakustik)**, Begriff aus der Lautsprechertechnik. Unter S. versteht man den der abgestrahlten Leistung eines Lautsprechers zugeordneten Widerstand; anders ausgedrückt, den akustischen Widerstand zwischen schwingender Membran und umgebender Luft.

# T

**T-Glied,** Kettenleiter mit Anordnung der Widerstände in Form eines T's.

**T-Regler,** Kettenleiter mit veränderbarer Dämpfung, ausgeführt als T-Glied. Beide Längsglieder und das Querglied sind gleichzeitig einstellbar. Die Eingangs- und Ausgangsimpedanz bleibt konstant, unabhängig von der eingestellten Dämpfung.

**Tandempotentiometer,** Ausdruck für zwei auf gemeinsamer Achse befindliche, gleichzeitig betätigte Potentiometer.

**Tangentialer Spurfehlwinkel,** siehe unter Abtastwinkelfehler.

**Tauchspulenmikrofon,** siehe unter Mikrofone.

**Terz,** dritte Stufe in der diatonischen Tonleiter. Es wird zwischen großer, kleiner, verminderter und übermäßiger T. unterschieden. Die Frequenz einer großen T. verhält sich zum Grundton wie 5:4.

**Terzfilter,** Bandpaß für elektroakustische Messungen mit einem Durchlaßbereich, der einer großen Terz entspricht.

**Terzrauschen,** Signal eines Rauschgenerators, dessen Frequenz innerhalb des Bereiches einer großen Terz stetig zu und wieder abnimmt (Erzeugung eines Rauschspektrums). T. wird zu Untersuchungen an Lautsprechern benutzt, mit dem Zweck, die Belastbarkeit zu ermitteln.

**Ton.** Ein Ton ist der Schalleindruck einer einfachen Schallschwingung von Sinus-Form. Mit dem im allgemeinen Sprachgebrauch üblichen Wort Ton wird fast immer ein Klang bezeichnet, denn auch der einzelne Klavier-Ton ist ein Klang.

**Tonabnehmer** siehe unter Schallplatte.

**Tonband** und **Tonbandgeräte** siehe unter Magnetton und Magnettongeräte.

**Tonfilm** siehe unter Lichtton.

**Tonfrequenz,** Bereich der hörbaren Schall-Schwingungen.

**Tongenerator,** Tonfrequenzerzeuger. U. a. Hilfsinstrument zur Prüfung elektroakustischer Geräte (Frequenz regelbar).

**Tonhöhe** ist gegeben durch die Schwingungszahl der betreffenden Schallwelle.

**Tonlupe,** Zeitdehner, in bezug auf akustische Vorgänge, kann durch langsameren Lauf der Schallplatte bzw. des Tonbandes erreicht werden.

**Tonsäule** siehe unter Lautsprecher.

**Transformator** siehe unter Übertrager.

**Transversalwellen** (Querwellen) siehe unter Schall.

## U

**Überanpassung,** siehe unter Anpassung.

**Überblender,** Einrichtung zum allmählichen Übergang von einer Tonspannungsquelle auf eine zweite (z. B. von Mikrofon auf Tonabnehmer). Ein einfacher Überblender, bei dem von der einen Tonquelle auf die andere übergegangen werden kann, aber noch keine Mischung stattfindet, zeigt **Bild 128,** während **Bild 130** das Prinzip eines Mischüberblenders angibt (gleicher innerer Widerstand der Tonfrequenzquellen vorausgesetzt). Bei verschieden großen Widerständen muß jeder Quelle ein Anpassungsglied (Kettenleiter) vorgeschaltet werden.

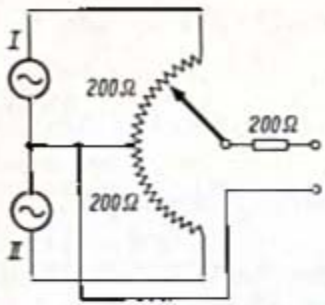



Bild 129. Schema eines Überblenders

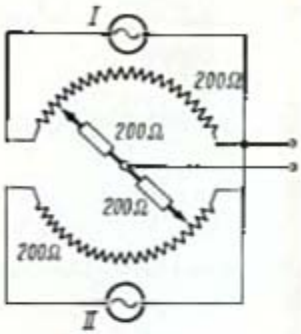



Bild 130. Schema eines Mischüberblenders

**Überspielen,** Ausdruck aus der Studiotechnik. Darunter versteht man Kopieren eines Tonträgers auf einen zweiten (z. B. Schallplatte/Magnettongerät).

**Übertrager.** In der Elektroakustik werden Transformatoren, die zur Übertragung von Tonfrequenzspannungen dienen, Übertrager genannt. Eine möglichst geradlinige Frequenzkurve zwischen 20 und mindestens 16 000 Hz ist Bedingung. Anzustreben ist eine Erweiterung des Bereiches nach oben bis 20 000 Hz. Dazu ist richtige Anpassung auf beiden Seiten, also an die Spannungsquelle einerseits und an den Verbraucher andererseits, erforderlich. Das Verhältnis der Windungszahlen zueinander nennt man *Übersetzungsverhältnis.*

Aufgabe eines Ausgangsübertragers ist es, den Außenwiderstand der Röhren oder der Transistoren an die Impedanz des Lautsprechers anzupassen. Der erstere ist in allen Fällen höher als der Lautsprecherwiderstand. Daher ist die höhere Windungszahl des Übertragers den Röhren bzw. Transistoren zugeordnet; dem geringeren Widerstand des Lautsprechers entspricht die kleinere Windungszahl auf der Sekundärseite des Übertragers (siehe auch unter Anpassung). Der Ausgangsübertrager hat schließlich noch die Aufgabe, die Gleichspannungen der Verstärker vom Lautsprecher fernzuhalten.

**Ultraschall.** Unhörbare Schallschwingungen oberhalb von 20 000 Hz sind Ultraschall-Wellen (unterhalb von 16 Hz liegt der Bereich des Infraschalls, oberhalb der Hyperschall; siehe diese).

# V

**Verdeckung**, siehe unter Physiologische Akustik.

**Verständlichkeit**, siehe unter Physiologische Akustik und unter Raumakustik.

**Verstärker** (NF-Verstärker = Niederfrequenz-Verstärker). Allgemein: jede Anordnung, die tonfrequente Spannungen oder Leistungen verstärkt. Als verstärkende Elemente gelangen Röhren oder Transistoren zur Verwendung, wobei zu erwähnen wäre, daß – im Laufe der Entwicklung – die Röhren von den Transistoren fast völlig verdrängt wurden.

Wichtigste Kenngröße eines Verstärkers ist der Verstärkungsgrad, festgelegt durch das Verhältnis Eingangs-/Ausgangswert (Spannungen oder Leistungen), ausgedrückt in dB oder Neper. Weitere wichtige Eigenschaften sind Klirrfaktor und geradlinige Frequenzkurve. Von modernen Verstärkern werden Klirrfaktorwerte $< 0{,}5$ % und maximale Abweichungen der Frequenzkurve $< \pm 2$ dB erreicht. Die sogenannten *Widerstandsverstärker* sind reine Spannungsverstärker; besser als RC-Verstärker bezeichnet (R = Widerstand, C = Kapazität). Als Außenwiderstände werden ohmsche Widerstände benutzt, die Übertragungsglieder werden durch Kondensatoren gebildet. Spannungsverstärker sollen kleine Tonfrequenzspannungen auf wesentlich höhere Werte bringen. Eine Grenze für den Verstärkungsgrad ist durch die Rauschspannung der ersten Röhre bzw. des ersten Transistors und durch die Gefahr der Selbsterregung gegeben. Das grundsätzliche Schaltbild eines RC-Verstärkers für eine Röhrenschaltung zeigt **Bild 131.**

In den Anfängen der Verstärkerentwicklung wurden auch *Transformator-Verstärker* als Spannungsverstärker verwendet. Die einzelnen Stufen sind dabei über Transformatoren (besser Übertrager) miteinander gekoppelt. Abgesehen von Sonderzwecken wird diese Bauart heute nicht mehr verwendet. – Eine Abart der transformatorgekoppelten Bauweise ist der *Treiberverstärker*. Darunter versteht man eine Anordnung zur

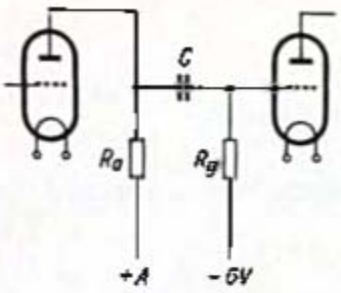



Bild 131. Prinzip des Widerstandsverstärkers (RC-Verstärker)

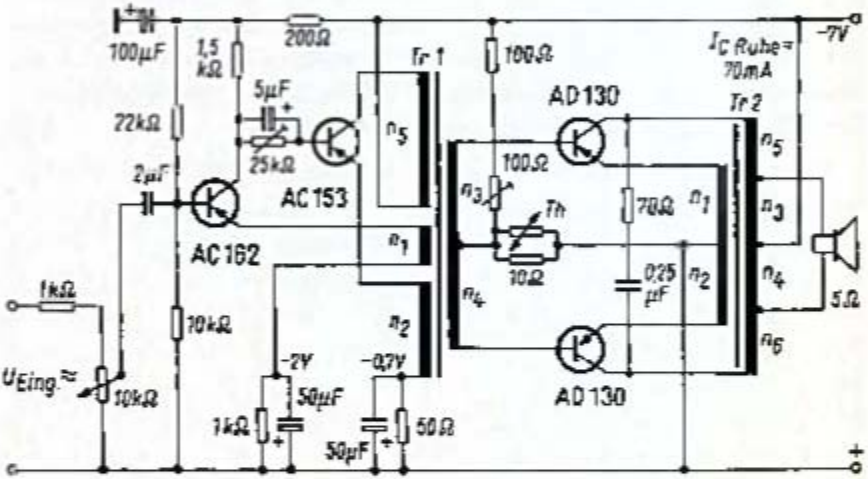



Bild 132. Transformatorgekoppelter Transistorverstärker (Siemens)

Ansteuerung der Endstufe, die bei bestimmten Bauarten von Röhren – oder Transistorverstärkern dazu Leistung im eigentlichen Steuerkreis (Gitter- bzw. Basiskreis) benötigt. Zu diesem Zweck werden häufig Übertrager verwendet. **Bild 132** zeigt einen 5-W-Transistorverstärker dieser Bauweise, ausgelegt für 7 V Betriebsspannung, Ausgangsimpedanz 5 Ω.

Bei Leistungsverstärkern unterscheidet man zwischen A-, B- und AB-Verstärkern. (Es gibt auch C-, sowie D-Verstärker). Erstere interessieren jedoch in diesem Zusammenhang nicht, da es sich dabei um Hf-Verstärker für Sendeanlagen handelt. Mit dem Kennbuchstaben D wird eine Röhrenschaltung bezeichnet, die mit fester Gittervorspannung arbeitet).

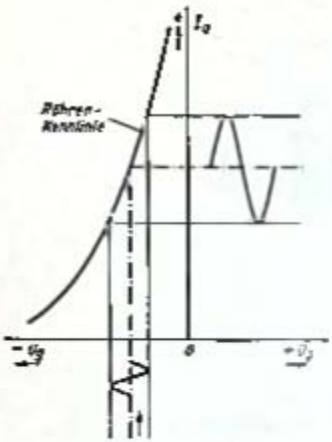



Bild 133. Arbeitsdiagramm des A-Verstärkers

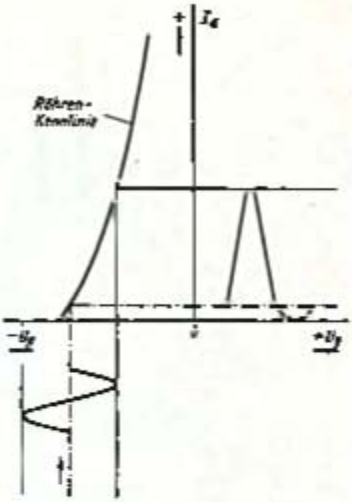



Bild 134. Arbeitsdiagramm des B-Verstärkers

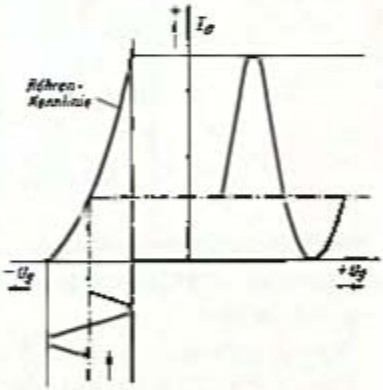



Bild 135. Arbeitsdiagramm des AB-Verstärkers

Der *A-Verstärker* ist so aufgebaut, daß der Arbeitspunkt in der Mitte des geraden Teils der Arbeitskennlinie liegt, siehe **Bild 133**. Das Diagramm eines *B-Verstärkers* zeigt **Bild 134**. Der Arbeitspunkt liegt nahe dem unteren Ende der Arbeitskennlinie, daher ist auch der Ruhestrom fast gleich Null.

Die Arbeitsweise des *AB-Verstärkers* geht aus **Bild 135** hervor. Der Arbeitspunkt auf der Kennlinie liegt etwa in der Mitte zwischen den entsprechenden Punkten der A- und der B-Verstärker, wird jedoch mit wachsender Aussteuerung verschoben. Die einzelnen Verstärkerbauarten wurden anhand von

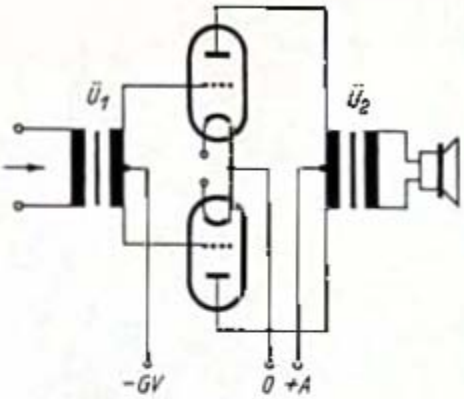



Bild 136. Schema einer Gegentaktschaltung

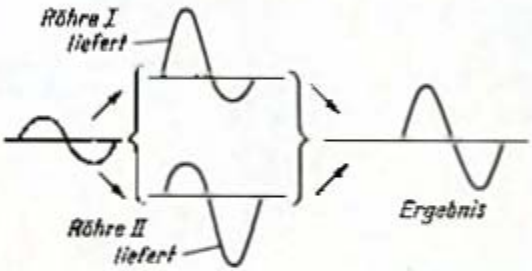



Bild 137. Arbeitsweise der Gegentaktschaltung

Röhrenkennlinien erläutert. Es sei jedoch betont, daß die vorstehenden Ausführungen auch für Transistorschaltungen Gültigkeit haben.

Die Schaltungsarten AB und B setzen die Verwendung der Gegentaktschaltung voraus. Bei derartigen Gegentaktendstufen können die Röhren oder Transistoren sowohl gleichstrommäßig parallel und wechselstrommäßig in Reihe, als auch gleichstrommäßig in Serie und wechselstrommäßig parallel geschaltet werden. In **Bild 136** ist das Schaltschema einer Gegentaktendstufe für Röhren skizziert, die nach dem zuerst erwähnten Prinzip arbeitet. Die Transistorschaltung Bild 132 ist in deren Arbeitsweise mit der Anordnung Bild 136 völlig identisch.

Bei Gegentaktschaltungen wird das steuernde tonfrequente Signal den beiden Gittern, bzw. den beiden Basen, gegenphasig zugeführt. Etwaige Unsymmetrien werden automatisch ausge-

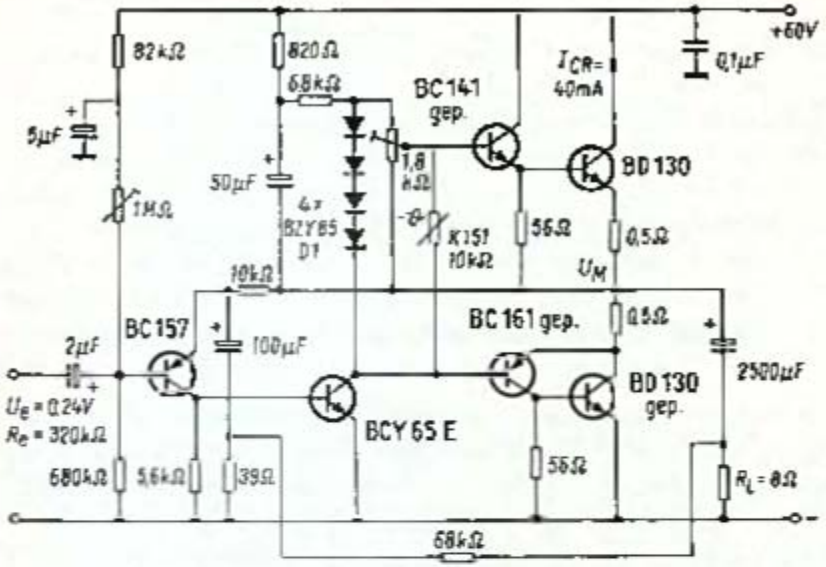



Bild 138. Moderner eisenloser Transistorverstärker (Siemens)

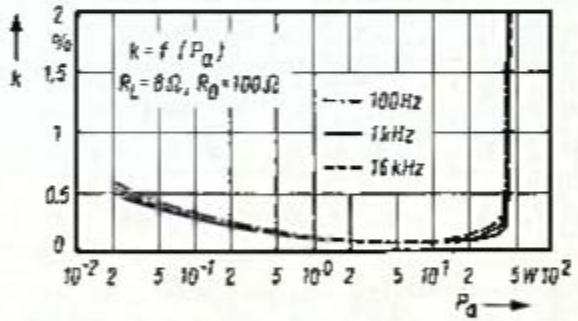



Bild 139. Klirrfaktorverlauf des in Bild 138 dargestellten Verstärkers

glichen, wie in **Bild 137** schematisch angedeutet. Als weitere Vorteile wären zu nennen: guter Wirkungsgrad und Unempfindlichkeit gegen Brummspannungen.

Die *Gegenkopplungsschaltung* bietet die Möglichkeit, wirksam zu entzerren und lineare und nichtlineare Verzerrungen klein zu halten. Allerdings ist damit in allen Fällen eine Verstärkungsminderung verbunden, die jedoch – wegen der erwähnten Vorteile – gern in Kauf genommen wird (siehe auch unter Gegenkopplung).

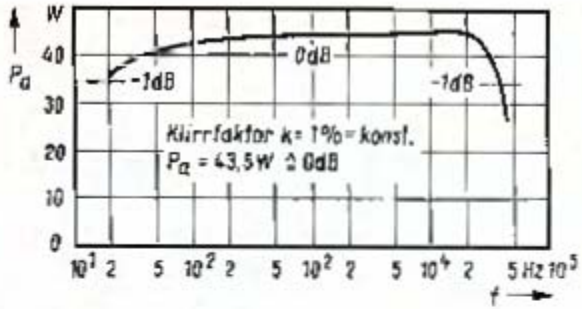



Bild 140. Leistungsbandbreite des Verstärkers Bild 138

*Eisenlose Verstärker* nennt man Anordnungen ohne Übertrager. Bei derartigen Schaltungen liegen die Endstufentransistoren gleichstrommäßig in Serie und wechselstrommäßig parallel. **Bild 138** zeigt die Schaltung eines modernen eisenlosen Transistorverstärkers (Siemens). Betriebsspannung 60 V, Ausgangsleistung 45 W (Sinus), Ausgangsimpedanz 8 Ω. Die grafische Darstellung **Bild 139** gibt Aufschluß über die außerordentlich geringen Klirrfaktorwerte dieser Schaltung, aufgetragen für 100 Hz, 1 kHz und 10 kHz. Die Leistungsbandbreite dieses Verstärkers geht aus der Kurve **Bild 140** hervor.

Nachstehend seien noch einige Begriffe aus der Verstärkertechnik erläutert:

*Dämpfungsfaktor.* Durch Anwendung einer sehr starken Gegenkopplung kann man erreichen, daß der wirksame Ausgangswiderstand eines Verstärkers sehr kleine Werte annimmt. Der D. gibt an, um wieviel der nominelle Ausgangswiderstand herabgesetzt ist. Zahlenbeispiel: Dämpfungsfaktor 1/20, nomineller Ausgangswiderstand 8 Ω. Wirksamer Ausgangswiderstand 8/20 = 2/5 = 0,4 Ω. Durch diese Maßnahme wird u. a. erreicht, daß 4-, 6- oder 8-Ω-Lautsprecher benutzt werden können, ohne Benachteiligung der Wiedergabequalität. Weiterhin wird die Eigenresonanz der verwendeten Lautsprecher wirksam bedämpft.

Die *harmonischen Verzerrungen* eines Verstärkers (Klirrgrad) werden als das Verhältnis der geometrischen Summe alle Oberwellen-Amplituden zur geometrischen Summe der Amplituden aller Frequenzen am Verstärkerausgang definiert.

*Intermodulationsfaktor*, siehe unter diesem Stichwort.

*Musikleistung*, nicht ganz korrekte Bezeichnung für Ausgangsleistung eines Verstärkers, womit ein Hinweis auf Leistungsreserven gegeben werden soll. Für die Beurteilung eines Verstärkers ist ausschließlich die Nenn- bzw. Sinusleistung maßgeblich.

Als *Nennleistung* oder *Sinusleistung* gilt die Leistung, die der Verstärker an den Abschlußwiderstand bei einem Sinus-Dauerton und bei einem vorgegebenen Grad harmonischer Verzerrungen für mindestens 10 Minuten abgibt. Der Wert des Abschlußwiderstandes (Soll-Abschlußwiderstand) wird vom Verstärkerhersteller angegeben.

*Normen der Verstärkertechnik*, DIN 45 500, Blatt 6, (Mindestanforderungen), ferner die Normblätter DIN 45 565 bis 45 567. Zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln.

*Übernahmeverzerrungen*, Verzerrungen bei B-Verstärkern (Röhren- oder Transistorschaltungen), die bei kleiner Aussteuerung entstehen. Abhilfe: Schaltungsanordnungen mit gleitendem Arbeitspunkt, der von der Aussteuerung abhängig ist.

*Übertragungsbereich*, Frequenzbereich eines Verstärkers innerhalb dessen die volle Leistung abgegeben wird. Die grafische Darstellung des Ü. wird als *Übertragungskurve* bezeichnet.

*Ultralinear-Schaltung*, Bezeichnung für eine mit Schirmgittergegenkopplung arbeitende Gegentaktendstufe, die mit Pentoden aufgebaut ist.

**Verstärkungsgrad** (von *Nf*-Verstärkern) wird bestimmt durch das Verhältnis Ausgangswert zum Eingangswert (Ausgangsspannung zur Eingangsspannung oder Ausgangsleistung zur Eingangsleistung). Beispiel: Eingangsspannung = 100 mV, Ausgangsspannung = 100 Volt, Verstärkungsrad = 1000.

**Verzerrer**, Anordnung zur Verzerrung eines (ursprünglichen) Frequenzgangs, z. B. Betonung oder Absenkung eines Teilfrequenzbereichs. Derartige Geräte werden u. a. in Studioanlagen zur Erzeugung bestimmter Effekte verwendet.

**Verzerrungen**, siehe unter Lineare Verzerrungen, unter Nichtlineare Verzerrungen und unter Klirrfaktor.

**Vibrato,** durch Amplituden- oder Frequenzmodulation eines Grundtones oder -klanges erzeugter Klangeffekt.

**Vierpole** sind Schaltungsanordnungen zur Übertragung elektrischer Energie, die zwei Pole als Eingangs- und zwei Pole als Ausgangsklemmen haben. Vierpole sind z. B. Doppelleitungen aller Art, Übertrager, Entzerrer, Netzwerke aller Art und Verstärker.

**Volumen-Messer,** aus dem Englischen übernommener Ausdruck für Aussteuerungsmesser. (In der englischen Fachsprache: „volume-units" = Lautstärkeeinheiten und „volume-indicator" = Aussteuerungsmesser.)

**Vorverstärker** verstärken die oft sehr schwachen, vom Mikrofon oder einem anderen Tonfrequenzgeber (z. B. Tonabnehmer) herrührenden Schwingungen, so daß der eigentliche Verstärker (Leistungsverstärker) die Tonfrequenzschwingungen besser verarbeiten kann (siehe auch DIN 45 585).

# W

**Weber-Fechnersches Gesetz.** Nach diesem Gesetz wächst die Schallempfindung des menschlichen Ohres annähernd mit dem Logarithmus der wirklich vorhandenen Schallstärken und Schalldrücke [Logarithmus siehe unter Dezibel].

**Wellenlängen** von Schallwellen in Luft von 20° C gehen aus folgender **Tabelle** hervor:

| Frequenz in Hz | Wellenlänge in m |
|---|---|
| 16 | 21,5 |
| 100 | 3,4 |
| 500 | 0,68 |
| 800 | 0,43 |
| 1 000 | 0,34 |
| 5 000 | 0,069 |
| 8 000 | 0,043 |
| 10 000 | 0,034 |
| 20 000 | 0,0172 |

**Wellenwiderstand.** Materialkonstante. Der Schallwellenwiderstand Z beträgt z. B. für Aluminium und Glas 1 380 000, für Hartgummi 181 000, für Weichgummi 5000, für Luft 41,5 [$gcm^{-2}$ $sec^{-1}$].

# Tabellenanhang

*Vorzeichen zur Bezeichnung von Vielfachen und Teilen*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| T | Tera | $= 10^{12}$ | 1 000 000 000 000 | Billion (Bio) |
| G | Giga | $= 10^{9}$ | 1 000 000 000 | Milliarde (Mrd) |
| M | Mega | $= 10^{6}$ | 1 000 000 | Million (Mio) |
| k | Kilo | $= 10^{3}$ | 1 000 | Tausend (Tsd) |
| h | Hekto | $= 10^{2}$ | 100 | Hundert |
| D | Deka | $= 10^{1}$ | 10 | Zehn |
| | | $10^{0}$ | 1 | Eins |
| d | Dezi | $= 10^{-1}$ | 0,1 | Zehntel |
| c | Zenti | $= 10^{-2}$ | 0,01 | Hundertstel |
| m | Milli | $= 10^{-3}$ | 0,001 | Tausendstel |
| µ | Mikro | $= 10^{-6}$ | 0,000 001 | Millionstel |
| n | Nano | $= 10^{-9}$ | 0,000 000 001 | Milliardstel |
| p | Pico | $= 10^{-12}$ | 0,000 000 000 001 | Billionstel |

## *Elektrische Maßeinheiten*

| Für: | Einheit | Kurzzeichen | Formelzeichen |
|---|---|---|---|
| **Spannung** | Volt<br>Kilovolt<br>Millivolt | V<br>kV<br>mV | *U* |
| **Stromstärke** | Ampere<br>Kiloampere<br>Milliampere | A<br>kA<br>mA | *I* (bzw. *i*) |
| **Widerstand** | Ohm<br>Kiloohm<br>Megohm<br>Teraohm | Ω<br>kΩ<br>MΩ<br>TΩ | *R* |
| **Leitfähigkeit** | Siemens | S | *G* |
| **Elektrizitäts-menge** | Coulomb<br>Amperestunde<br>Amperesekunde | C<br>Ah<br>As | *Q* |
| **Induktivität** | Henry<br>Millihenry<br>Mikrohenry | H<br>mH<br>µH | *L* |
| **Kapazität** | Farad<br>Mikrofarad<br>Pikofarad | F<br>µF<br>pF | *C* |
| **Leistung** | Watt<br>Kilowatt<br>Blindkilowatt<br>Voltampere<br>Kilovoltampere | W<br>kW<br>BkW, kVar<br>VA<br>kVA | *P* |
| **Arbeit** | Wattstunde<br>Wattsekunde (Joule)<br>Kilowattstunde | Wh<br>Wsec (J)<br>kWh | *W* |
| **Frequenz** | Hertz *)<br>Kilohertz<br>Megahertz | Hz<br>kHz<br>MHz | *f* |

*Umrechnungstabelle für Kapazitätsmaße*

| Einheit | F | µF | nF | pF | cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 F (Farad) | 1 | $10^{6}$ | $10^{9}$ | $10^{12}$ | $0{,}9 \cdot 10^{13}$ |
| 1 µF (Mikrofarad) | $10^{-6}$ | 1 | $10^{3}$ | $10^{6}$ | $0{,}9 \cdot 10^{6}$ |
| 1 nF (Nanofarad) | $10^{-9}$ | $10^{-3}$ | 1 | $10^{3}$ | $0{,}9 \cdot 10^{3}$ |
| 1 pF (Pikofarad) | $10^{-12}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | 1 | 0,9 |
| 1 cm (Zentimeter) | $1{,}11 \cdot 10^{-12}$ | $1{,}11 \cdot 10^{-6}$ | $1{,}11 \cdot 10^{-3}$ | 1,1 | 1 |

*Umrechnungstabelle für Induktivitätsmaße*

| Einheit | H | mH | µH | cm |
|---|---|---|---|---|
| 1 H (Henry) | 1 | $10^{3}$ | $10^{6}$ | $10^{9}$ |
| 1 mH (Millihenry) | $10^{-3}$ | 1 | $10^{3}$ | $10^{6}$ |
| 1 µH (Mikrohenry) | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | 1 | $10^{3}$ |
| 1 cm (Zentimeter) | $10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | 1 |

*Maßeinheiten des Magnetismus*

| Für: | Einheit | Kurzzeichen | Formelzeichen |
|---|---|---|---|
| Magnetische Feldstärke | Ampere/cm | Aw/cm | H |
| Magnetische Induktion | Gauß | G | B |
| Magnetischer Fluß | Weber | Wb = Vs | Φ |

# Zusammenstellung einiger Formeln aus dem Gebiete der Akustik (alphabetisch)

**Schalldichte**

$$E = \frac{J}{c}$$

Maßeinheit: $Ws \cdot cm^{-3}$

darin bedeuten

$J$ = Schallstärke in $W \cdot cm^{-2}$

$c$ = Schallgeschwindigkeit in $cm \cdot sec^{-1}$

Für Luft von 20° C ist $E = 7{,}08 \cdot 10^{-14} \cdot p^2$

($p$ = Schalldruck in μbar)

**Schalldruck**

$$p = s \cdot \mathfrak{Z}$$

Maßeinheit: μbar.

$s$ = Schallschnelle in $cm \cdot sec^{-1}$

$\mathfrak{Z}$ = Schallwellenwiderstand in $g \cdot cm^{-2} \cdot sec$

**Schallgeschwindigkeit**

a) *in Gasen*

$$c = \sqrt{\frac{\varkappa \cdot P}{\varrho}}$$

darin bedeuten

$P$ = Gasdruck im Gleichgewichtszustand in μbar

$\varrho$ = Dichte des Gases in $g \cdot cm^{-3}$

$\varkappa = \frac{c_p}{c_v}$ = Verhältnis der spezifischen Wärme

b) *in Luft* (bei verschiedenen Temperaturen)

$$c = 330 \pm 0{,}6 \cdot t$$

$t$ = Temperatur in Celsiusgraden

c) *in Flüssigkeiten*

$$c = \sqrt{\frac{1}{K \cdot \varrho}}$$

$K$ = Kompressibilität in $cm \cdot sec^2 \cdot g^{-1}$

$\varrho$ = Dichte der Flüssigkeit in $g \cdot cm^{-3}$

d) *in festen Körpern*

$$c = \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$$

$E$ = Elastizitätsmodul in $g \cdot cm^{-1} \cdot sec^{-2}$

$\varrho$ = Dichte in $g \cdot cm^{-3}$

Maßeinheit für c: $cm \cdot sec^{-1}$

**Schallschnelle**

$$s = \frac{p}{\mathfrak{Z}}$$

Maßeinheit: $cm \cdot sec^{-1}$

p = Schalldruck in µbar

$\mathfrak{Z}$ = Schallwellenwiderstand in $g \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$

**Schallstärke** (Schallintensität)

$$J = \frac{p^2}{\mathfrak{Z}}$$

(gültig nur für fortschreitende Wellen)

Maßeinheit: $W \cdot cm^{-2}$

Für Luft ist $J = \frac{p^2}{41{,}5} \cdot 10^7$ [$p$ = Schalldruck in µbar]

**Schallwellenwiderstand**

$$\mathfrak{Z} = \varrho \cdot c \cdot \cos\varphi = \frac{p}{s}$$

für ebene Wellen $\varphi = 0$; $\cos\varphi = 1$

für Kugelwellen $\tan\varphi = \frac{\lambda}{2\pi r}$

($\lambda$ = Wellenlänge, $r$ = Entfernung von der Schallquelle)

Im Abstand $\lambda$ wird $\cos\varphi$ praktisch gleich 1.

Maßeinheit: $g \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$

darin bedeuten

$\varrho$ = Dichte in $g \cdot cm^{-3}$

c = Schallgeschwindigkeit in $cm \cdot sec^{-1}$

$p$ = Schalldruck in µbar

s = Schallschnelle in $cm \cdot sec^{-1}$

# Literaturverzeichnis


Elektroakustisches Taschenbuch bearb. von Ing. Hans Heyda, Jakob Schneider Verlag, Berlin-Tempelhof.

Wellentheoretische Raumakustik von Dr. Lothar Cremer, S. Hirzel-Verlag, Leipzig.

Elektrische Klangerzeugung von Werner Meyer-Eppler, Verlag Ferdinand Dümmler, Bonn.

Hilfsbuch für Hochfrequenztechniker von Limann-Hassel, Franzis-Verlag, München.

Telefunken-Laborbuch, Band 1, 2 und 3. Franzis-Verlag, München.

Magnetische Tonaufzeichnung von D. A. Snel, Philips Technische Bibliothek.

Tonbandtechnik ohne Ballast von E. F. Warnke. Franzis-Verlag, München.

Einführung in die Akustik von F. Trendelenburg, Springer-Verlag, Berlin.

Philips-Taschenbuch für Elektroakustik und Tonfilm.

Lautsprecher-Taschenbuch Isophon, Dipl.-Ing. Williges.

Magnettontechnik von Dr. Ernst Christian, Franzis-Verlag, München.

Tonstudiotechnik von Ing. Johannes Webers, Franzis-Verlag, München.

Halbleiterschaltbeispiele 1961, 1968, 1970, Siemens Halske AG.

Siehe ferner die Bändchen aus der „Radio-Praktiker-Bücherei":

7/8. Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren von Fritz Kühne.

9/10. Tonbandgeräte-Praxis von Wolfgang Junghans.

11/12. Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone von Fritz Kühne.

26. Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio von Fritz Kühne (vergriffen).

43. Musikübertragungs-Anlagen von Fritz Kühne.

57. Tönende Schrift von Heinrich Kluth.

63/65. Moderne Schallplattentechnik von Dr.-Ing. Fritz Bergtold (vergriffen).

85. Hi-Fi-Schaltungs- und Baubuch von Fritz Kühne (vergriffen; neue Auflage für 1972 in Vorbereitung).

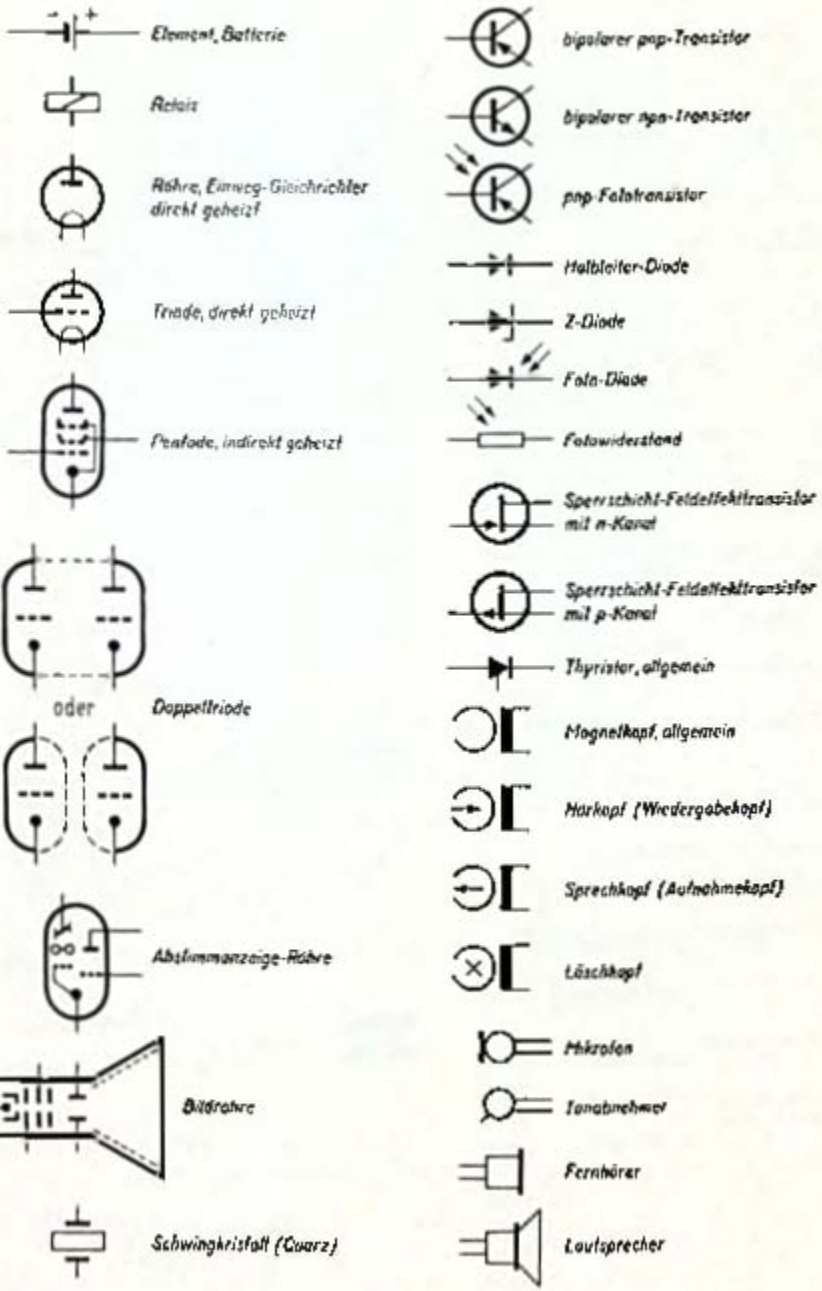
96/97a. Kleines Stereo-Praktikum von Fritz Kühne und Karl Tetzner.

101/102. Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau von Dr. Rainer H. Böhm.

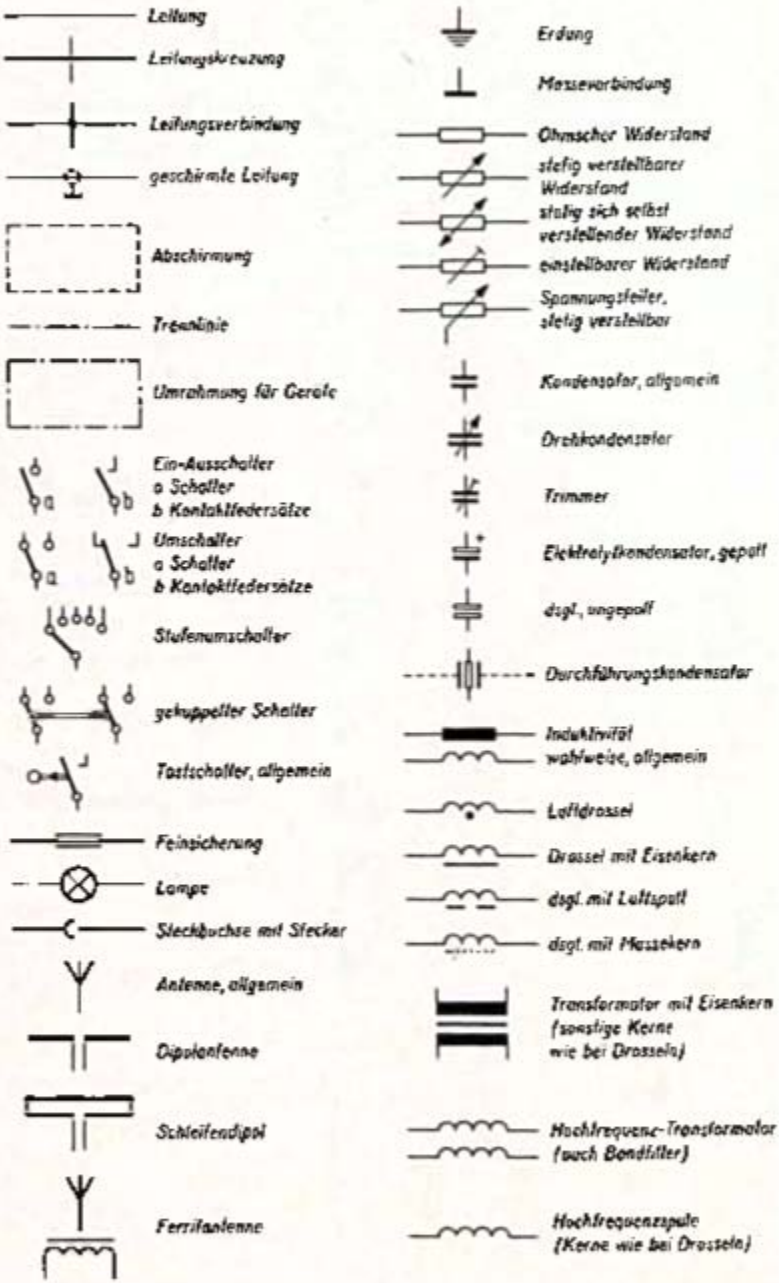
105/105b. Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für Hi-Fi von Dipl.-Ing. H. H. Klinger.

124/125. Technische Akustik von Dipl.-Ing. H. H. Klinger, alle Franzis-Verlag, München.
134/135. Kleines Halbleiter-ABC von Gustav Buscher und Dipl.-Ing. A. Wiegelmann.
143/144. Stereo-Decoder von Ing. Ludwig Ratheiser.
301/303. NF-Elektronik von Lothar Sabrowsky.
328/330. Integrierte NF-Elektronik von Lothar Sabrowsky.
331/334. Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen von Siegfried Wirsum.

## Die wichtigsten Schaltzeichen



## Die wichtigsten Schaltzeichen (Fortsetzung)



**84/84a** Fernsehantennen-Praxis (Mende). 11. Aufl.

**86/87** Berufskunde für Radio- und Fernsehtechniker und verwandte Berufe (Rose). 3. Aufl.

**88/88b** Schliche und Kniffe für Radiopraktiker (Kühne). 5. Aufl.

**91/92** Superhet-Empfänger mit Röhren und mit Halbleitern (Sutaner). 3. Aufl.

**93/94** Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 5. Aufl.

**97/98a** Kleines Stereo-Praktikum (Kühne/Tetzner). 4. Aufl.

**99/99a** Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen? (Sutaner). 7. Aufl.

**100/100a** Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker und Elektroniker (Mende). 3. Aufl.

**101/102** Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 4. Aufl.

**103** Die Wobbelsender (Sutaner). 3. Aufl.

**104** Transistorsender für die Fernsteuerung (Bruß). 4. Aufl.

**105/05b** Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 5. Aufl.

**106/07a** Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 3. Aufl.

**108** Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). 2. Aufl.

**109/10** Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 3. Aufl.

**111/12** Meßinstrumente und ihre Anwendung (Köhler). 3. Aufl.

**114/14a** Halbleiter-Experimente (Kleemann). 3. Aufl.

**115/16** Elektronische Schaltungen mit Fotozellen (Hennig). 2. Aufl.

**117/18** Einseitenbandtechnik für den Funkamateur (Hillebrand). 2. Aufl.

**119/20** Gedruckte Schaltungen (Sutaner). 2. Aufl.

**121/23** Bastelpraxis Band IV. Transistorpraxis (Diefenbach). 2. Aufl.

**124/25** Technische Akustik (Klinger).

**126/27** Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 2. Aufl.

**128/30** Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren (Sutaner). 2. Aufl.

**131/33a** Elektronische Grundschaltungen (Schweigert). 3. Aufl.

**134/35** Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 2. Aufl.

**136** Transistorisierte Netzgeräte (Strobel).

**141/42** Dipmeter m. Röhren, Transistoren u. Tunneldioden (Reithofer). 2. Aufl.

**143/44** Stereo-Decoder, Funktion und Schaltungstechnik (Rathelser).

**145/46** Transistor-Gleichspannungswandler (Schweitzer).

**147/52** Erfolgreicher Fernseh-Service (Lummer). 2. Aufl. DM 15.80.

**153/56** Fernsehempfänger-Schaltungstechnik (Koubek). DM 10.80.

**157/58** Meßgeräte und Meßverfahren für den Funkamateur (Link).

**160/62** Relais (Köhler).

**163/65c** Regelungstechnik für Radio- und Fernsehtechniker und Elektroniker (Schweigert). DM 15.80.

**166/67** Elektronik im Kraftfahrzeug (Stieber/Wilk).

**168/70** Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach). 4. Aufl.

**171/73** Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt (Benda).

**176/77** Integrierte Schaltungen für den Funkamateur (Birchel).

**301/03** NF-Elektronik (Sabrowsky). 2. Aufl.

**304/06** Transistor-Schaltverstärker (Sabrowsky). 2. Aufl.

**307/09** Elektronische Schranken und Wächter (Sabrowsky). 2. Aufl.

**310/12** Thyristor-Schalter und -Regler für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 1. Aufl.

**313/15** Elektronische Hilfsgeräte für Heim- und Werkstatt (Sabrowsky).

**316/18** Digitale Experimentier-Bausteine (Sabrowsky). 1. Aufl.

**319/21** Der leichte Start zum Funkfernsteuern (Sabrowsky). 1. Aufl.

**322/24** Impulstechnik für jedermann (Sabrowsky). 1. Aufl.

**325/27** Sinus-, Rechteck- und Impulsgeneratoren für Prüf- und Meßzwecke (Sabrowsky). 1. Aufl.

**328/30** Integrierte NF-Elektronik (Sabrowsky). 1. Aufl.

**331/34** Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 1. Aufl. DM 10.80.

BÜSCHER, GUSTAV
WIEGELMANN, Dipl.-Ing. A.

# Kleines ABC der Elektroakustik

6. Auflage

**29/30a**
Dreifach-Band

**Wohin wir heute hören, überall stehen wir den Auswirkungen der modernen Elektroakustik gegenüber. Mag es sich um wenige Milliwatt im Kleinsthörer eines Schwerhörigenapparates, um Hunderte von Watt bei der Übertragung eines Glockengeläutes handeln — stets sind Mikrofone, Verstärker, Lautsprecher, Tonbandgeräte, Plattenspieler beteiligt. Das elektroakustische Gebiet spielt in der modernen Unterhaltungs-Elektronik eine beherrschende Rolle; in dieser Feststellung liegt bereits die Erklärung für die Notwendigkeit dieses kleinen Spezial-Lexikons, das — schon in 6. Auflage erscheinend — in praktischer Anordnung die Grundbegriffe und Bauteile der elektroakustischen Technik in einer Form erläutert, wie sie für den Lernenden, den beruflich Tätigen, aber auch für den aus Liebhaberei Interessierten besonders zweckmäßig ist.**

Der Verfasser dieses Buches, Gustav Büscher, studierte an der Technischen Hochschule Darmstadt Elektrotechnik und die beginnende Hochfrequenztechnik. Längere Zeit war er Schriftleiter der Rundfunkzeitschrift „Die Sendung" in Berlin, machte sich dann selbständig und verfaßte technische Schriften und Bücher. Der Krieg verschlug ihn an den Starnberger See. Hobby: Tonbandtechnik. Er starb im Jahre 1957.

Die Neubearbeitung dieses Buches nahm Dipl.-Ing. A. Wiegelmann, mit dem verstorbenen Autor viele Jahre befreundet, mit behutsamer Hand vor; er paßte es in allen wichtigen Einzelheiten an den neuesten Stand der Technik an. In der Nähe von Frankfurt an der Oder geboren, studierte Wiegelmann an den Technischen Hochschulen in Aachen und Berlin, um sich nach kurzer Tätigkeit im Zentrallaboratorium einer Großfirma (Entwicklung von Nachrichtengeräten) dem Rundfunkfach zuzuwenden. Bei seiner jetzigen Behörde, einer staatlichen amerikanischen Rundfunkgesellschaft, ist er seit nunmehr über zwanzig Jahren tätig. Er zählt zu denjenigen Autoren, denen der Beruf ihr größtes Hobby ist.

ISBN 3-7723-0296-3

RADIO-PRAKTIKER BÜCHEREI